

Math. A.
250. n

Math. A. 250 ⁿ

Weiler

LEITFADEN
DER
MATHEMATISCHEN GEOGRAPHIE

FÜR DEN
UNTERRICHT AN MITTELSCHULEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. A. WEILER,

PRIVATDOCENT UND LEHRER DER MATHEMATIK IN ZÜRICH.



LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1881.



Vorrede.

Um beim Unterricht in mathematischer Geographie Zeit zu ersparen gedachte ich einen Leitfaden als Lehrmittel einzuführen. Aber keiner der bereits vorhandenen schien mir bei richtiger Begrenzung des Stoffes dem Standpunkte des Schülers angepaßt und zugleich streng wissenschaftlich sowie geometrisch anschaulich zu sein. Somit blieb mir allein übrig selbst ein solches Lehrmittel zu schreiben, welches ich hiermit veröffentliche.

Was die Begrenzung des Stoffes anbetrifft, so möge sich der Sachverständige hierüber sein Urteil selbst bilden, sowie darüber, ob die wissenschaftliche Strenge in genügendem Maße vorhanden sei. — Die genaue geometrische Vorstellung wird ebensowohl durch die Art der Behandlung wie durch gute Figuren erlangt werden können, insofern der Schüler überhaupt das geistige Vermögen der Raumvorstellung bereits ausgebildet oder doch in seiner geistigen Anlage besitzt. Sehr zu empfehlen ist, neben dem Unterricht sich guter Veranschaulichungsmittel wie Tellurium, Globus etc. zu bedienen.

Zürich-Hottingen im Mai 1880.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

I. Gestalt, Gröfse und Rotation der Erde.		Seite
§ 1.	Gestalt im Allgemeinen	7
§ 2.	Einteilung der Kugelflächen	7
§ 3.	Geographische Coordinaten	9
§ 4.	Hauptrichtungen für einen Ort auf der Erde	10
§ 5.	Erddimensionen. Entfernung zweier Orte. Gröfse des Gesichtsfeldes	11
§ 6.	Genauere Angabe über Gestalt und Gröfse der Erde. Abplattung	13
§ 7.	Axendrehung der Erde	15
§ 8.	Nachweis der Rotation. Die Abplattung als deren Folge	17
II. Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.		
§ 9.	Das Himmelsgewölbe durch den Horizont begrenzt	19
§ 10.	Die Sternbilder.	20
§ 11.	Tägliche Drehung des Himmelsgewölbes	21
§ 12.	Das Himmelsgewölbe ersetzt durch einen Globus	22
§ 13.	Einteilung mit Rücksicht auf die tägliche Rotation. Die Polhöhe gleich der geographischen Breite	22
§ 14.	Horizontkoordinaten der Gestirne	26
§ 15.	Aequatorkoordinaten	28
III. Instrumente zur Beobachtung.		
§ 16.	Axenlibelle	31
§ 17.	Dosenlibelle	32
§ 18.	Fernrohr.	32
§ 19.	Sextant	33
§ 20.	Meridianinstrument	35
§ 21.	Theodolith.	35
§ 22.	Das parallaktisch montierte Fernrohr	37
§ 23.	Uhr	40
§ 24.	Miren	40
§ 25.	Quecksilberhorizont	40
IV. Das Dreieck Pol-Zenith-Stern.		
§ 26.	Allgemein gültige Formeln	41
§ 27.	Auf- und Untergang	42

V. Anwendung der Instrumente.

	Seite
§ 28. Bestimmung des Meridians	44
§ 29. Bestimmung der Polhöhe (geographische Breite).	44
§ 30. Bestimmung der geographischen Länge	46
§ 31. Bestimmung der Äquatorkoordinaten	47
§ 32. Gebrauch der Uhr	47
§ 33. Die Refraktion	48

VI. Scheinbare Bewegung der Sonne.

§ 34. Scheinbare jährliche Bewegung in der Ekliptik	49
§ 35. Einteilung der Ekliptik, Jahreszeiten	50
§ 36. Wahre Sonnenzeit. Siderisches Jahr. Mittlerer Sonnentag und Zeitgleichung	51
§ 37. Der Kalender	53
§ 38. Sternkarten	55
§ 39. Sonnenuhren	56

VII. Die Sonne und die Revolution der Erde.

§ 40. Beschaffenheit und Axendrehung der Sonne	57
§ 41. Gravitation und Kepler'sche Gesetze	60
§ 42. Revolution der Erde	63
§ 43. Bedeutung der Jahreszeiten. Tropisches Jahr. Präzession. Nutation.	65

VIII. Der Mond.

§ 44. Physische Beschaffenheit	69
§ 45. Gröfse und Entfernung	69
§ 46. Bewegung des Mondes	70
§ 47. Ostern, Ostergrenzen	73
§ 48. Zeitrechnung nach dem Monde	73
§ 49. Ebbe und Flut	74
§ 50. Finsternisse	75

IX. Die Planeten und die übrigen Körper des Sonnensystems.

§ 51. Die Planeten im allgemeinen	79
§ 52. Planetentabelle.	80
§ 53. Untere Planeten	81
§ 54. Merkur, Venus	82
§ 55. Obere Planeten.	82
§ 56. Mars, Planetoiden, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun . . .	83
§ 57. Synodische Planetenjahre	85
§ 58. Entstehung des Sonnensystems.	86
§ 59. Sternschnuppen und Kometen	88

	Seite
§ 60. Zodiakallicht	90
§ 61. Dauer des Sonnensystems, Störungen.	90

X. Das Weltgebäude.

§ 62. Zahl, Verteilung und Beschaffenheit der Fixsterne.	91
§ 63. Sternhaufen, Nebel.	93
§ 64. Ortsveränderung der Fixsterne und Bewegung der Sonne .	93
§ 65. Doppelsterne, Fixsternt Trabanten	94
Alphabetisches Register	96

I.

Gestalt, Gröfse und Rotation der Erde.

§ 1. Die ältesten Griechen betrachteten die Erde als eine durch das Meer begrenzte *flache Scheibe*. Widersprüche hiergegen lassen sich nun aber viele finden und es sind dieselben naheliegend genug. So z. B. ist der Schatten, den die Erde bei Finsternissen auf den Mond wirft, stets durch einen Kreisbogen begrenzt. Im Westen gehen dieselben Gestirne später auf als im Osten. Betrachtet man die Erde von einem erhöhten Punkte aus (z. B. Berggipfel), so zeigt sich eine runde Begrenzungslinie, deren Radius mit der Höhe des Standortes zunimmt und welche sich mit dem Beobachter fortbewegt. Bei einem sich entfernenden Schiffe verschwinden die untersten Teile immer zuerst, die Spitze des Mastbaumes zuletzt.

Angesichts dieser Einwände gegen die flache Gestalt der Erdoberfläche erscheint es sehr natürlich, dafs man schon in alter Zeit von dieser Annahme abging. Der Grieche Thales (geb. zu Milet, im J. 639 v. Chr.) lehrte, es sei die Erde eine *freischwebende Kugel*. Diese Annahme erklärt die oben-erwähnten Erscheinungen und es wurde diese Lehre durch die im 16. Jahrhundert begonnenen Erdumsegelungen in schönster Weise bestätigt.

§ 2. Die Stereometrie zeigt nun, wie eine Kugelfläche einzuteilen ist. Man geht von einem Punkte der Kugel aus, *Pol* genannt. Der zweite Endpunkt des durch den Pol gehenden Durchmessers ist der gegenüberliegende Punkt auf der Kugel, der *Gegenpol*. Durch Pol und Gegenpol legt man Großkreise (größte Kreise) und nennt diese, resp. deren Hälften von Pol zu Pol, *Meridiane*. — Die Verbindungslinie

der Pole heißt *Axe*. Ebenen senkrecht zur *Axe* gelegt schneiden die Kugel in *Parallelkreisen*. — Auf der Kugel bilden alsdann die Meridiane und Parallelkreise ein Netz. Wie ein Globus zeigt, wird dadurch die Kugelfläche in Vierecke zerlegt, die am *Äquator* (d. i. am größten Parallelkreise, in der Schifffersprache die „Linie“ genannt) Quadraten ähnlich sehen, gegen die Pole hin aber Trapezform annehmen (sphärische Trapeze mit sämtlich rechten Winkeln). Am Pol selbst haben diese Flächenstücke die Form von Dreiecken (uneigentliche sphärische Dreiecke, indem nur je zwei Seiten Bogen größter Kreise sind).

Ein Parallelkreis teilt die Kugel in zwei *Kalotten*, von denen jede einen der Pole zum sphärischen Mittelpunkt hat. Zwischen zwei Parallelkreisen liegt je eine *Zone* und zwischen zwei Meridianen ein *Zweieck*.

Der Äquator wird hierbei in 360 Bogengrade geteilt; durch die Teilungspunkte gehen die Meridiane, die somit sämtlich gleiche Abstände haben resp. gleiche sphärische Zweiecke ergeben. Zwischen zwei benachbarte von diesen Meridianen werden je 59 weitere eingeschaltet, deren Abstände je eine Bogenminute (am Äquator gemessen) resp. eine Winkelminute (als sphärischer Winkel am Pol gemessen) beträgt. Endlich legt man zwischen je zwei der letzteren Meridiane wieder 59 von der Entfernung einer Bogen- resp. Winkelsekunde. Für noch weitergehende Teilung bedient man sich in der Regel der Decimalteile der Sekunde. — Ein bestimmter von allen den Meridianen dient als *Anfangsmeridian* (in der Geographie der von Ferro, astronomisch für Deutschland derjenige von Berlin, für die Schifffahrt der von Greenwich).

Jeder Meridian wird ebenfalls in 180 gleiche Teile geteilt, ein solcher wieder in 60 u. s. f. Die Punkte gleicher sphärischer Distanz von einem Pol bilden dann eben einen Parallelkreis. Hat man in Grade, Minuten und Sekunden eingeteilt, so giebt es offenbar $180 \times 60 \times 60$ Zonen auf der Kugel; zwischen dem Äquator und je einem Pol je $90 \times 60 \times 60$, wobei stets die am Pol liegende in Wirklichkeit eine Kalotte ist. (Unter der entsprechenden Voraussetzung bilden die Meridiane $360 \times 60 \times 60$ sphärische Zweiecke von der Breite einer

Sekunde und auf der Kugel hätte man diesfalls $180 \times 360 \times 60^4$ Flächenstücke.)

§ 3. Geht man auf dem Erdäquator vom Anfangspunkte A (Fig. 1) um l° nach Osten bis B , so hat man unter $P_n B P_s$

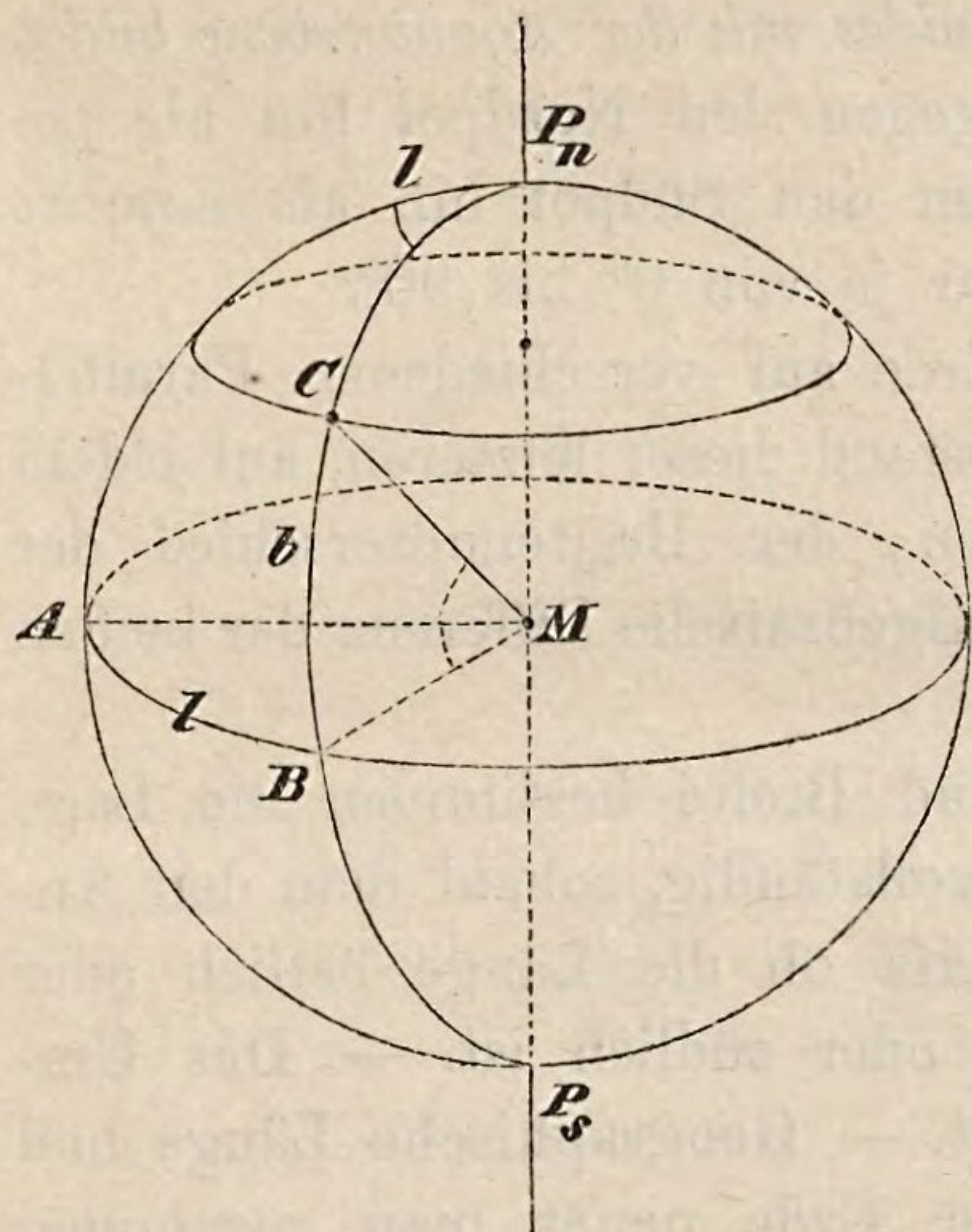


Fig. 1.

den Meridian von l° östlicher Länge. Entweder zählt man diese *geographische Länge* l von 0° bis 360° von A ost- oder westwärts auf dem Äquator, oder gleichzeitig von A je um 180° nach Ost und West. Im letzteren Falle machen die Meridiane l° östlich und $(180 - l)^\circ$ westlich zusammen einen Großkreis aus, währenddem bei Zählung bis 360° die Meridiane von l° und $(180 + l)^\circ$ dasselbe thun.

Die geographische Länge eines Punktes auf der Erde ist die hierbei seinem Meridiane zukommende. Sind zwei Punkte auf der Erde auf zwei verschiedenen Meridianen gelegen, so ist der Winkel der Meridiane gleich dem geographischen Längenunterschiede der Punkte.

Zwei Meridiane, die sich zu einem Großkreise ergänzen, teilen die Erdoberfläche in eine *östliche* und eine *westliche Halbkugel* (Hemisphäre). Gewöhnlich werden die Meridiane von 0° und 180° für diese Einteilung benutzt.

Anstatt östliche und westliche Länge zu unterscheiden, drückt man diesen Gegensatz oft durch *positive* und *negative* aus. Welche man hierbei als positive wählt, ist vollkommen gleichgültig. Bei dieser Bezeichnung darf man sagen, es sei der Längenunterschied zweier Punkte auf der Erde gleich der algebraischen Differenz ihrer Längen.

Der Äquator teilt die Erde in die *nördliche* und die *südliche Halbkugel*. — Sei in Fig. 1 C ein Punkt der nördlichen Halbkugel, CM der nach ihm gehende Erdradius. Der Bogen

BC habe b Grade, so ist die *geographische Breite* des Ortes C gleich b^0 nördlich oder $+b^0$. Die *geographische Breite* giebt an, wie weit der betreffende Punkt vom Äquator absteht, gemessen auf dem durch ihn gehenden Meridian, resp. welchen Winkel der Erdradius des Punktes mit der Äquatorebene bildet. Sie wird vom Äquator aus gegen den Nordpol hin als *positive oder nördliche* und gegen den Südpol hin als *negative oder südliche* gezählt und zwar je von 0^0 bis 90^0 .

Sind zwei Punkte der Erde auf verschiedenen Parallelkreisen gelegen, so ist der Abstand dieser letzteren, auf jedem beliebigen Meridian gemessen, der Breitenunterschied der Punkte (zu berechnen als die algebraische Differenz der beiden Breiten).

Geographische Länge und Breite bestimmen die Lage eines Punktes auf der Erde vollständig, sobald man den Anfangsmeridian kennt und weiß ob die Länge östlich oder westlich, die Breite nördlich oder südlich ist. — Das Umgekehrte findet ebenfalls statt. — Geographische Länge und Breite eines Punktes auf der Erde nennt man zusammen dessen *geographische Koordinaten*.

Fragen. In Fig. 1 habe C die Länge $+l$ und die Breite $+b$, wo sind die Punkte $+l, -b$; $-l, +b$; welche geogr. Koordinaten hat der Gegenfüßler von C . Welches sind die Koordinaten eines Punktes des Anfangsmeridians, des Äquators oder eines Poles. Welches sind die Koordinaten aller Punkte eines bestimmten Parallelkreises oder Meridians. Wie groß ist die sphärische Entfernung des Punktes C vom Nordpol P_n oder vom Südpol P_s . Wie groß ist die sphärische Entfernung zweier Punkte desselben Meridians (Breiten b_1^0 und $\pm b_2^0$) oder der Punkte des Äquators von den Längen l_1 und $\pm l_2$.

§ 4. In Fig. 2 ist C ein Punkt auf der Erde. Die Figur enthält seinen Meridian und seinen Parallelkreis. Die Meridiantangente m repräsentiert für die Stelle C der Erdoberfläche ohne Zweifel die Richtung Süd-Nord und heißt *Mittagslinie*. Man erkennt, daß die Mittagslinie stets die Verbindungslinie der Erdpole N, S schneidet. — Die Parallelkreistangente p in C ist zu m senkrecht und giebt die Richtung West-Ost

Grad bei geographischer Breite b , so ist (Fig. 3) $\sphericalangle CMA = \sphericalangle DMB = b^\circ$, $\sphericalangle CMD = \sphericalangle AOB = 1^\circ$; $OA = AM \cos b$.

Da die Proportion besteht $AB : CD = OA : MC$, oder $AB : 15 = AM \cos b : AM$, so hat man

$$AB = 15 \cos b \text{ Meilen.}$$

Fragen. Wie groß ist die Meile in Metern ausgedrückt (7407; in Wirklichkeit 7420, die Erde ist nicht genau eine Kugel, s. § 6). Wie viele Meilen misst ein Längengrad unter 60° geogr. Breite. Welcher Winkel gehört nahezu zu einem Großkreisbogen auf der Erde

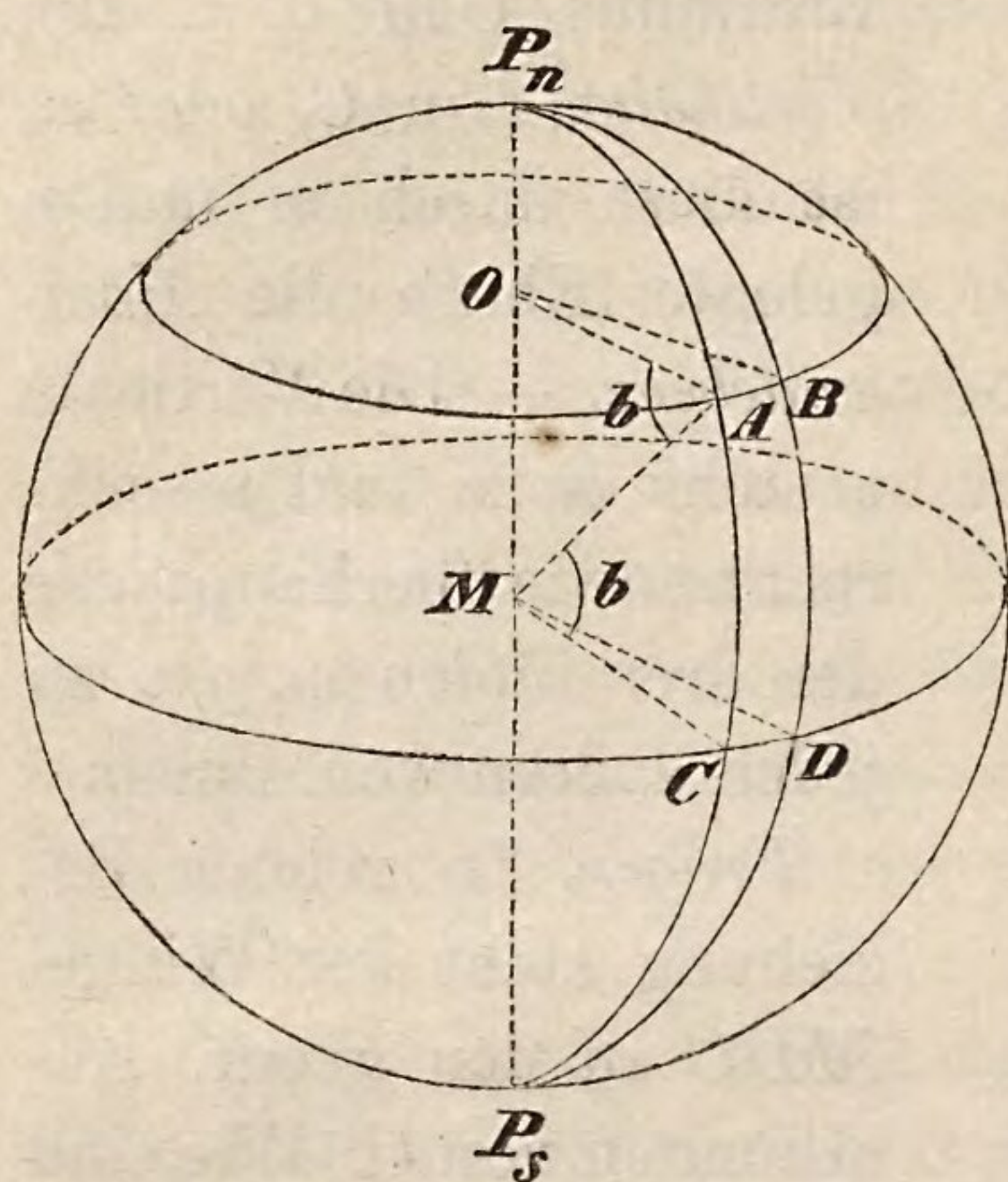


Fig. 3.

von der Länge einer englischen Meile.

Um die *Distanz zweier Punkte auf der Erde* zu bestimmen

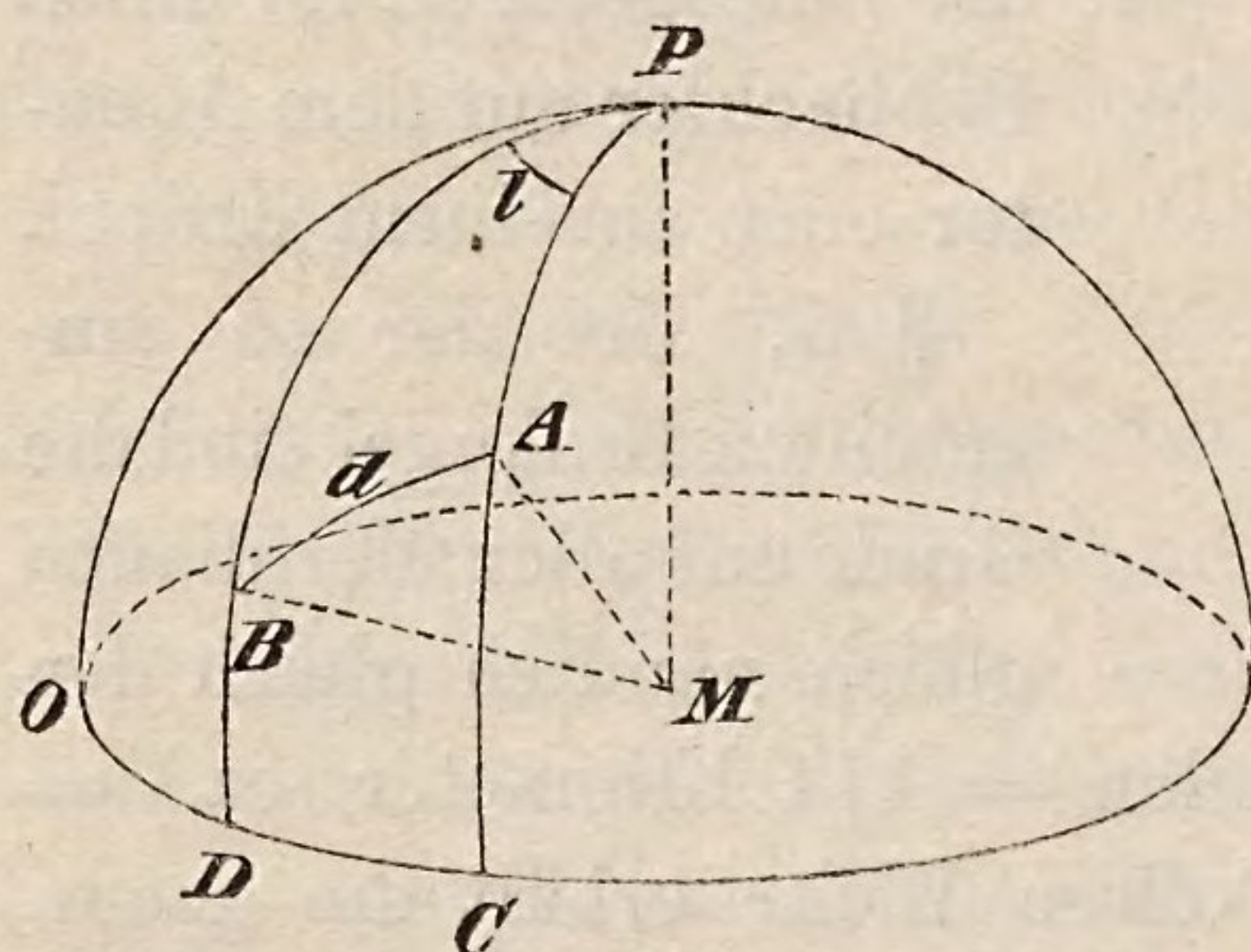


Fig. 4.

verbindet man sie durch den Bogen AB eines Großkreises, Fig. 4. P ist der Pol, AC und BD sind die geogr. Breiten $+b_1, +b_2$. Die Längen von A und B sind $l_1 = OC$ und $l_2 = OD$, so ist der Längenunterschied $l = l_1 - l_2$. In dem sphärischen Dreiecke APB ist $AP = 90^\circ - l_1$, $BP = 90^\circ - l_2$, $\sphericalangle P = l$, $AB = d$ und man hat die Kosinus-

Formel:

$$\cos AB = \cos AP \cos BP + \sin AP \sin BP \cos l, \text{ oder}$$

$$\cos d = \sin b_1 \sin b_2 + \cos b_1 \cos b_2 \cos (l_1 - l_2).$$

An Stelle dieser Formel treten, wie durch Umformung leicht zu beweisen ist, folgende:

$$\cos d = \frac{\sin b_1 \sin (b_2 + x)}{\cos x}, \quad \operatorname{tg} x = \cotg b_1 \cos (l_1 - l_2).$$

Frage. Wie groß ist die Distanz der Punkte $l_1 = 23^\circ 14'$ ö. L., $b_1 = 43^\circ 14'$, $l_2 = 13^\circ 8'$ w. L., $b_2 = 67^\circ 50'$.

Anmerkung. Um sphärische Distanzen auf Globen zu messen, bedient man sich eines in der Längsrichtung biegsamen Maßstabes, bei dem die Einheit der Längeneinteilung ein zur Kugel gehöriger Bogengrad ist. — Die *Seemeile* ist die Länge einer Bogenminute.

Erhebt man sich um die Höhe $h = AB$ über die Erdkugel, so übersieht man, abgesehen von kleineren Erhebungen

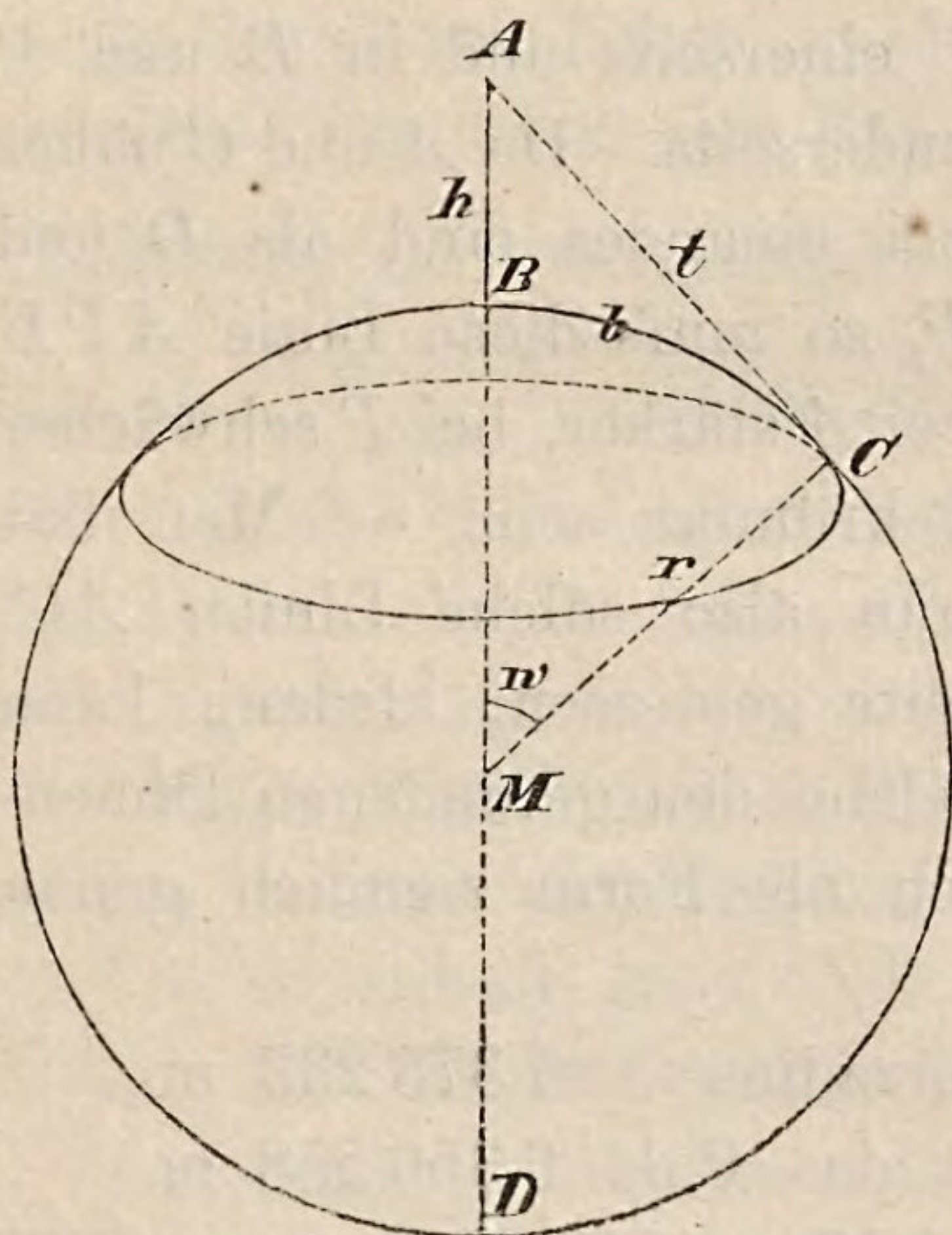


Fig. 5.

auf der Erde, eine Calotte vom sphärischen Radius b . Dabei ist nahezu $b = t$, wenn h gegen r klein ist. — Man hat $t = \sqrt{h(2r + h)}$ ($AB \cdot AD = AC^2$, Planimetrie). Das ist streng genommen die Seite des Kegels vom Beobachter nach dem Gesichtskreis auf der Erde. Ferner ist $\cos w = \frac{r}{h + r}$, $b : 2r\pi = w^\circ : 360^\circ$, $t = r \operatorname{tg} w$.

Frage. Wenn die Höhe des Monte Rosa 4638 Meter beträgt und der Erdradius 6366198 Meter, welchen sphärischen Durch-

messer hat alsdann der Gesichtskreis.

§ 6. Die *wirkliche Gestalt der Erde* ist nur annähernd ermittelt. — Ausgehend davon, es sei die Erde eine genaue Kugel, man solle deren Größe finden, wurden Messungen vorgenommen (die erste 220 v. Chr.). Man hat auf den Meridianen unter verschiedener geogr. Breite gemessen. Die folgende Tabelle stellt einige der Resultate dar.

	Mittl. geogr. Breite	Länge des Breitengrades
Peru	$1^\circ 31'$	110 582 Meter
Indien	$12^\circ 32'$	110 632 „
Frankreich	$46^\circ 8'$	111 143 „
Lappland	$66^\circ 20'$	111 478 „

Da die Länge gegen den Pol hin unzweifelhaft wächst, so ist die Krümmung der Erde an den Polen schwächer, am Äquator stärker. Sei nämlich APB die Hälfte eines Schnittes

der Erde durch die Pole, P der eine Pol, A und B die Schnittpunkte mit dem Äquator. Wenn AC ein Grad ist, so bilden

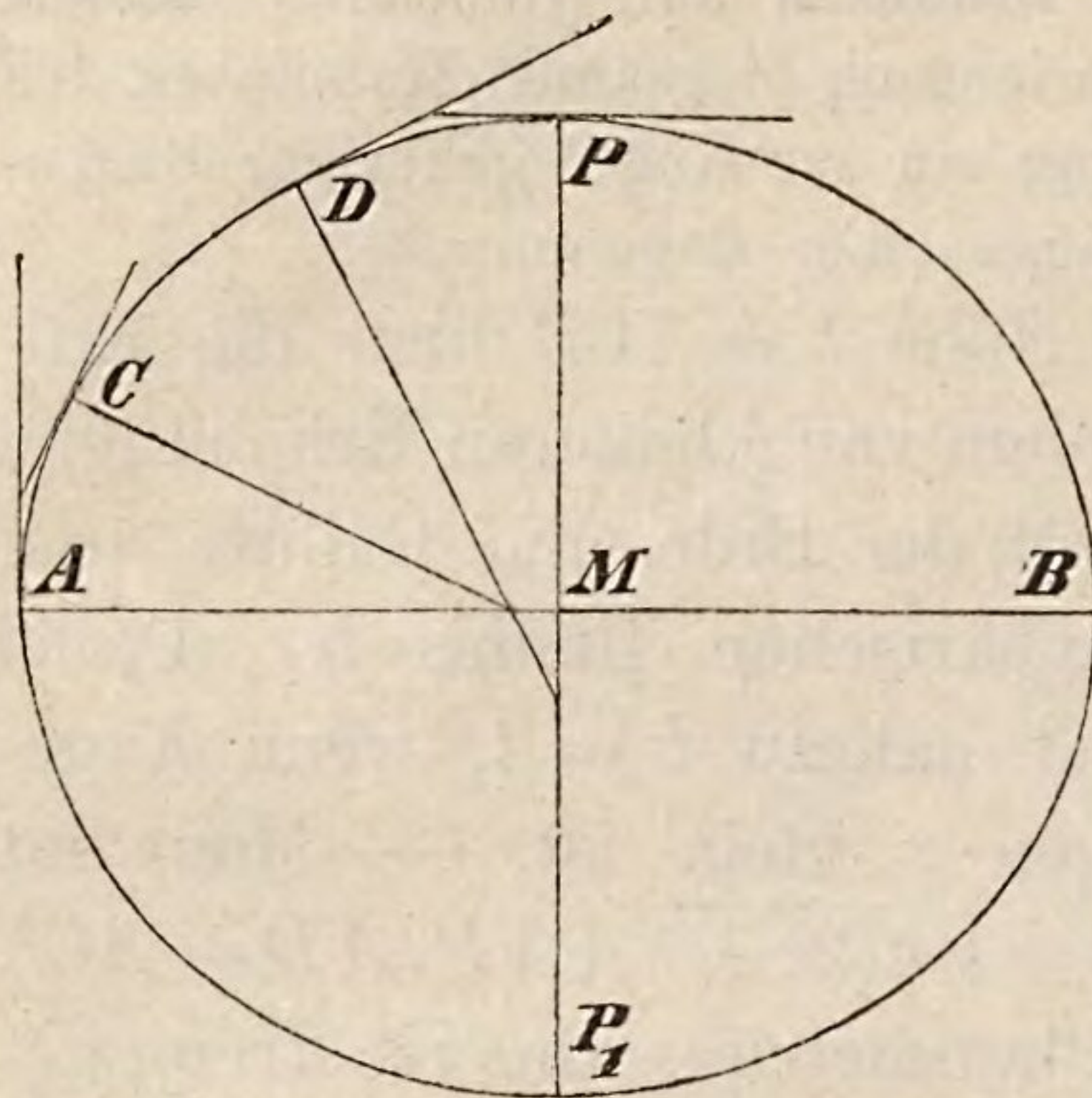


Fig. 6.

die Tangenten der Linie APB in A und C einen Winkel von 1° , desgleichen die Tangenten in D und P , wenn der Bogen DP ein Grad sein soll; ebenso endlich die Normalen in A und C einerseits und in D und P andererseits. Da A und C näher bei einander sind als D und P , so muß diese Linie APB bei A stärker, bei P schwächer gekrümmt sein. — Man hat nun also solche Linien AC ,

DP in verschiedener geogr. Breite gemessen; alsdann kann man eine Linie APB suchen, welche den gefundenen Dimensionen entspricht. Es ergab sich als Form ziemlich genau eine *Ellipse*.

Halbe große Axe = Äquatorradius 6 378 233 m.

Halbe kleine Axe = Radius des Pols 6 356 558 m.

Oder $AM = 1719$ Meilen, $PM = 1713$ M. (ca.) — Will man die Erde näherungsweise als *Kugel* auffassen, so ist der Radius

$$6\,366\,198\text{ m} = 859,427\text{ M.},$$

der Durchmesser 1718,854 M. und die Länge des Bogens von 1° gleich 111 111,11 m.

Diese hier gegebenen Zahlen, die wohl im Laufe der Zeit noch genauer ermittelt werden, haben im allgemeinen ihre Bestätigung gefunden durch physikalische Versuche mit dem Pendel. Die Physik lehrt, daß ein Pendel, um in gleichen Zeiten gleichviele Schwingungen zu machen, da länger sein muß, wo die Anziehung der Erde stärker ist. Konstruiert man nun am Äquator und anderwärts *Sekundenpendel*, die in jeder Sekunde einmal schwingen, so wächst deren Länge mit der geogr. Breite; Beweis daß die Anziehung stärker wird resp. daß der Ort dem Erdmittelpunkte näher liegt. Die Ausführung der Versuche und der Rechnungen mag der Physik

überlassen bleiben. Die Versuche werden darum schwierig, weil die lokale Struktur des Erdinnern auf das Pendel Einfluß hat. So z. B. wirkt ein nahegelegenes Gebirge auch ablenkend auf die Richtung eines aufgehängten Bleilotes.

Denkt man sich eine Kugel konstruiert, welche mit der Erde konzentrisch ist und deren Radius mit dem des Erdäquators übereinstimmt, so ist die Erde ganz innerhalb dieser Kugel, am weitesten innerhalb sind die Pole (6 Meilen). Mit dieser Kugel verglichen erscheint die Erde an den Polen *abgeplattet*. Die Form der Erde ist die eines Sphäroids. Die Abplattung wird ausgedrückt durch $\frac{1}{294}$. Wenn man nämlich, Fig. 6, $\frac{AM - MP}{AM}$ bildet, so hat man die Abplattung. Dieselbe ist also das Verhältniß des Stückes, um welches der Pol dem Erdmittelpunkte näher liegt, als ein Punkt des Äquators, zum Äquatorradius.

Frage. Wenn man die Erde aus einem Punkte des Weltraumes in der verlängerten Äquatorebene oder aus einem Punkte außerhalb eines Pols betrachtet, welche Form nimmt alsdann die Erdscheibe an.

Anmerkung. Die hier entwickelte sphäroidale Form der Erdoberfläche bezieht sich vor allem auf den Meeresspiegel, hierbei abgesehen von Ebbe und Flut und den übrigen Abweichungen von der Form des ruhigen Meeres. Auf dem Festlande sind die Abweichungen stärker (Gebirge, Hochebenen). Nur für Europa kennt man die Höhenverhältnisse des Festlandes genau, für die übrigen Kontinente dagegen noch nicht vollständig.

§ 7. *Axendrehung der Erde.* Der Anblick des Himmels zeigt, daß alle Gestirne einer *täglichen Bewegung* unterworfen sind, von Ost nach West gerichtet. Daraus entstand bei alten Völkern der Glaube, es sei unsere Erde der feste Mittelpunkt der Welt, um den sich das Übrige dreht.

Der Pythagoräer *Philolaos* (ca. 500—400 v. Chr.) nahm dagegen eine tägliche Bewegung der Erde um ein sog. Centralfeuer an*). Diese Idee wurde von Schülern Platons an-

*) Vgl.: „Die Vorläufer des Copernicus“ von Schiaparelli, übers. von Curtze, Leipzig 1876, S.-A. aus der altpreußischen Monatsschrift, Band 13.

gefochten (Eudoxos, Aristoteles). Kurze Zeit später (ca. 350 v. Chr.) lehrte *Herakleides* die Rotation der Erde um ihre Axe (sowie die Umläufe von Merkur und Venus um die Sonne). Ein unbekannter Zeitgenosse von Herakleides ging von der Annahme aus, es drehe sich die Erde um ihre Axe und bewege sich wie die anderen Planeten um die Sonne. Diese Lehre fand nur wenige Anhänger (Aristarchos von Samos, Seleukos, vor 200 v. Chr.). Spätere Astronomen Griechenlands wie Apollonius von Perga, Eratosthenes, Hipparch, Ptolemäus (letzterer 150 n. Chr.) trugen diesen Fortschritten keine Rechnung. Allerdings wurde zu jener Zeit die Astronomie sehr ausgebildet, aber unter Zugrundelegung des *Ptolemäischen Weltsystems*, nach welchem die Erde feststeht. (Die Gestirne dachte man sich in zur Erde excentrischen Kreisen oder in Epicyklen sich bewegend d. h. in Kreisbahnen, deren Mittelpunkte selbst wieder in Kreisen um die Erde gehen.)

Erst *Copernicus* (geb. 1473 zu Thorn) begründete das mit dem jenes unbekannten Zeitgenossen von Herakleides im wesentlichen übereinstimmende, allein wahre, *Copernicanische Weltsystem*. Dasselbe gelang trotz heftigster Anfeindungen völlig zur Geltung. — *Tycho Brahe* (1546—1601) stellte ein zwischen diesem System und dem ptolemäischen vermittelndes auf, nach welchem die Erde feststeht, die Planeten sich um die Sonne, endlich Sonne und Mond sich um die Erdaxe bewegen.

Die Erdaxe, d. i. feste Gerade um welche sich die Erde dreht, geht durch die geographischen Pole. Jene Punkte beschreiben also keinen (täglichen) Weg, währenddem jeder beliebige andere Punkt täglich den durch ihn gehenden Parallelkreis durchläuft. Es legt somit ein Punkt des Äquators täglich als Weg dessen Umfang, 5400 Meilen, zurück; in jeder Stunde 225 M., also jede Sekunde 464 m. Mit wachsender geogr. Breite wird der Umfang des Parallelkreises kleiner, somit diese Bewegung langsamer, und hört an den Polen ganz auf.

Fragen. Wie groß ist die Geschwindigkeit pr. Sekunde für die geogr. Breite b^0 , speciell für 50^0 . Wie erklärt sich

aus der Drehung der Erde die tägliche Bewegung z. B. der Sonne. Was beschreiben die Linien m , p , v in Fig. 2.

§ 8. In neuerer Zeit hat man auf experimentellem Wege strenge bewiesen, daß die Rotation der Erde wirklich vor sich geht. Der *Fallversuch* ist der am leichtesten verständliche. Newton (geb. 1642) zeigte, daß ein aus großer Höhe herabfallender Körper etwas östlich vom Fußpunkte des Lotes

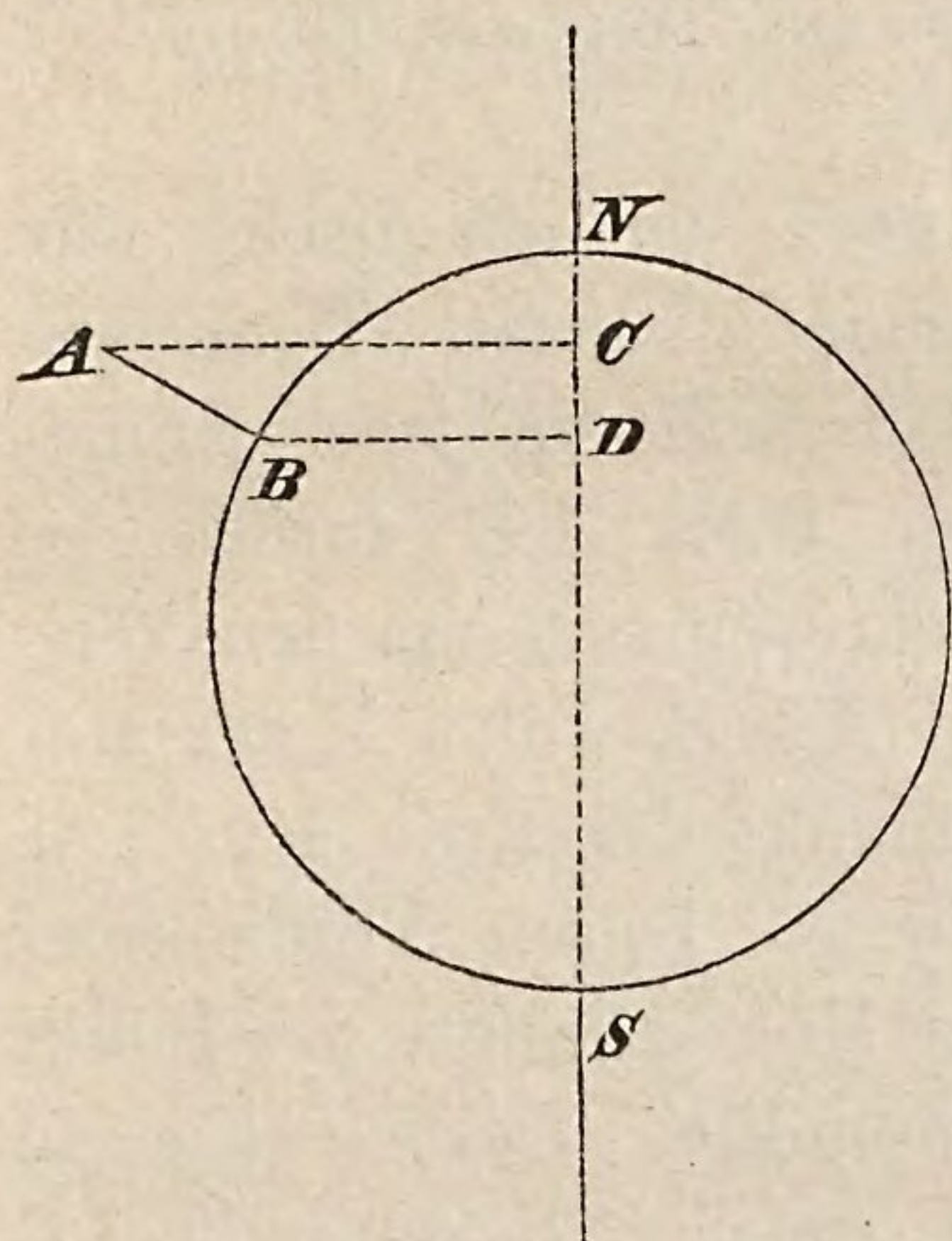


Fig. 7.

die Erde treffen müsse. Denn der Körper A vertikal über B hat jeden Tag einen Kreis vom Radius AC von West nach Ost zu durchlaufen, der Fußpunkt B des Lotes den kleineren Kreis vom Radius BD (Fig. 7, N und S sind Nord- und Südpol). Bei A ist somit die Geschwindigkeit des Vorrückens nach Osten größer. Diese Geschwindigkeit wird aber während des Fallens von A zur Erde beibehalten, woraus sich ein Auffallen östlich von B ergibt. — Ben-

zenberg führte 1804 solche Versuche wirklich aus und bestätigte in befriedigendster Weise, was sich im voraus berechnen liefs.

Wie wir später erfahren werden, hat man übrigens die Rotation um eine Axe bei allen der Erde nahen Gestirnen wahrgenommen (s. Abschn. IX.).

Man kann ferner zeigen, daß die Abplattung der Erde eine Folge der Rotation ist. Der Erdkörper, welcher noch jetzt fortwährenden Änderungen unterworfen ist (Thätigkeit der Vulkane, der Flüsse; Erdbeben als Zeugen von Veränderungen im Erdinnern) war nicht immer so, wie er jetzt ist. Vielmehr muß man annehmen, es hätten die Stoffe, welche die Erde bilden, früher einen viel größeren Raum eingenommen. Damals war die Dichtigkeit überall geringer und der Zustand dem flüssigen resp. gasförmigen ähnlich (chaotischer Zustand, siehe § 58). Nun zeigt aber ein physikalischer Versuch, daß infolge der Centrifugalkraft bei der

Rotation einer weichen elastischen Kugel die Pole sich dem Mittelpunkte nähern, daß dagegen diese Kugel sich am Äquator ausdehnt. Dort ist die Centrifugalkraft, oder das Bestreben der einzelnen Teile vom Mittelpunkte der Erde resp. von der Rotationsaxe zu fliehen, am größten. Rotiert man einen weichen Körper, so nimmt er gerade die sphäroidale Form an, die wir als die Form der Erde erkannt haben und die beim Festwerden, „Erstarren“, zum Teil wenigstens beibehalten wurde.

Als der Zustand der Erde noch der chaotische war, geschah die Rotation viel langsamer als jetzt. Denn war damals ein Punkt in A und legte derselbe in jeder Stunde

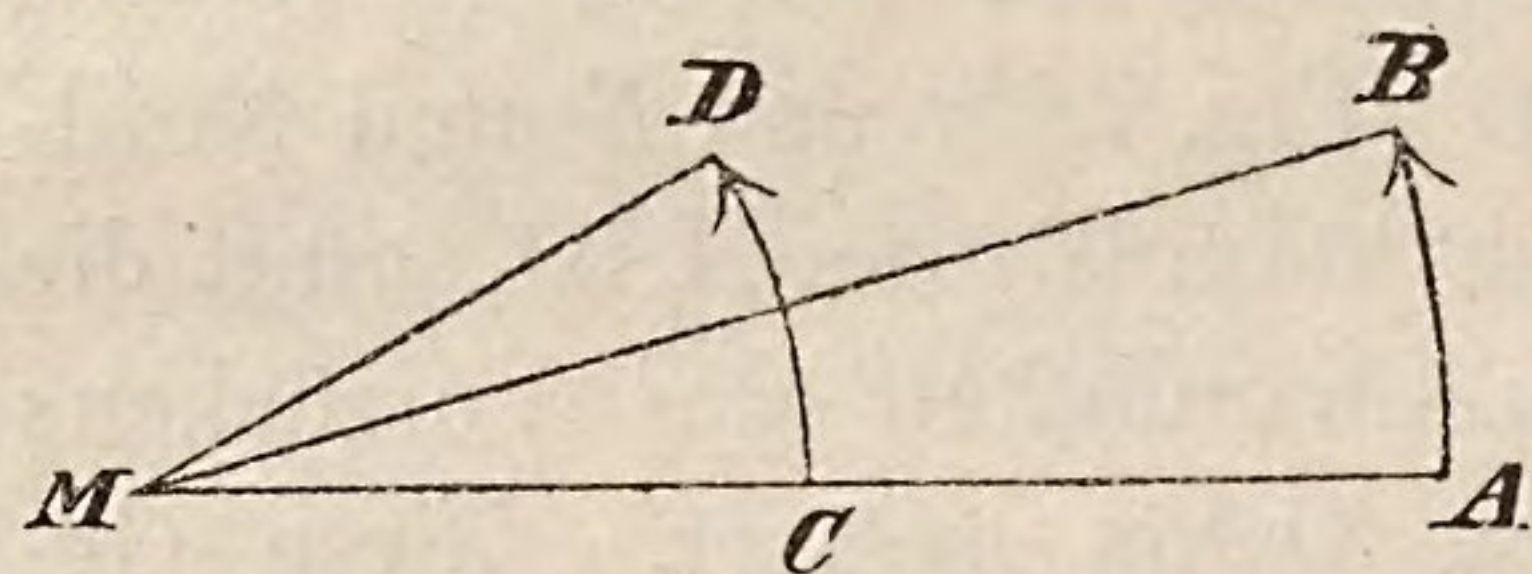


Fig. 8.

den Weg AB zurück, so drehte er sich um den Winkel AMB , wobei M der Mittelpunkt der Erde sein soll, Fig. 8. Durch Verdichtung der Erde gelangte der Punkt

in den Abstand MC vom Erdmittelpunkte. Dort legt er in jeder Stunde den Weg CD zurück, welcher Bogen mit AB gleich lang ist. Dann ist aber $\sphericalangle CMD > \sphericalangle AMB$.

Ein weiterer experimentell erprobter Beweis für die Rotation der Erde ist der *Foucault'sche Pendelversuch*. Man denke sich am Pol ein langes und schweres Pendel aufgehängt, das im Stande ist während mehrerer Stunden zu schwingen. Beim Beginne des Schwingens soll die Schwingungsebene mit dem Meridian von Ferro zusammenfallen. Währenddem nun die Pendelebene fest bleibt, dreht sich die Ebene des Meridians von Ferro in 24 Stunden um 360° , also in jeder Stunde um 15° . Es scheint dann, daß die Pendelebene gegenüber dem Meridian um 15° stündlich zurückdreht. — Für ein am Äquator aufgehängtes Pendel findet das nicht mehr statt. An einem Orte zwischen Äquator und Pol ist das „Zurückweichen“ gegenüber dem Meridian kleiner als 15° stündlich und von der geogr. Breite des Ortes abhängig (die Südhälfte bleibt nach Westen zurück). Eine genaue Erklärung und Berechnung erfordert mathematische Hilfsmittel, die auf dieser Stufe nicht vorausgesetzt werden können.

II.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

§ 9. Die Sterne scheinen sämtlich gleich unermesslich weit entfernt zu sein. Obwohl bedeutende Unterschiede in der Entfernung vorhanden sind, kann man dieselben nicht ohne weiteres wahrnehmen. Die Fixsterne erscheinen uns als leuchtende Punkte einer Kugel resp. Halbkugel, deren Mittelpunkt sich bei uns befindet. Diese scheinbare Kugel nennen wir das *Himmelsgewölbe*. Die Ebene, welche auf dem Meere oder auf dem flachen Lande dasselbe begrenzt, heißt die *natürliche* oder die *scheinbare Horizontebene*. Sie ist die Tangentialebene der Erde am Fußpunkte des Beobachters. Legt man durch den Mittelpunkt der Erde eine dazu parallele Ebene, so ist diese letztere die *wahre Horizontebene*. Für zwei Antipoden ist sie dieselbe Ebene. — Die Horizontebene schneidet das Himmelsgewölbe in einem größten Kreise, dem *Horizont* des Beobachters. Da der Radius des Himmelsgewölbes ungeheuer groß zu denken ist, so braucht man die Schnitte mit wahrer und natürlicher Horizontebene nicht zu unterscheiden.

Die *Vertikale* des Ortes, d. i. die Verbindungslinie mit dem Erdmittelpunkte (die Erde als genaue Kugel betrachtet), ist senkrecht zu beiden Horizontebenen und wird angegeben durch die Richtung des Bleilotes. Denkt man sich das Himmelsgewölbe zur Kugel ergänzt und die Verticale nach oben und unten bis zum Schnitt mit derselben verlängert, so entstehen zwei Punkte: *Zenith* und *Nadir*, von denen der letztere unsichtbar ist. Der Zenith ist die Mitte des unsichtbaren Himmelsgewölbes.

Fragen. Wenn man für zwei Punkte auf der Erde die sphärische Entfernung kennt, welchen Winkel bilden alsdann die Verticalen dieser Orte und welchen Winkel ihre Horizontebenen.

Anknüpfend an die Bemerkung, es seien die Fixsterne sehr weit von der Erde entfernt, soll hier erwähnt werden, daß auf jeden Fall im Vergleich zu jenen Entfernungen der

Radius der Erde verschwindend klein erscheint und dafs man den Mittelpunkt des Himmelsgewölbes als mit dem Erdmittelpunkte zusammenfallend voraussetzen darf. Oder: Zieht man von einem Punkte der Erdoberfläche einerseits und vom Erdmittelpunkte anderseits Geraden nach demselben Fixstern, so dürfen diese als parallel angesehen werden.

Hat man zwei Punkte am Himmel mit dem Mittelpunkte dieser Kugel verbunden, so giebt deren Winkel die *sphärische Distanz* oder kurzweg die *Distanz* der Punkte am Himmel an. Das Maximum derselben beträgt 180° .

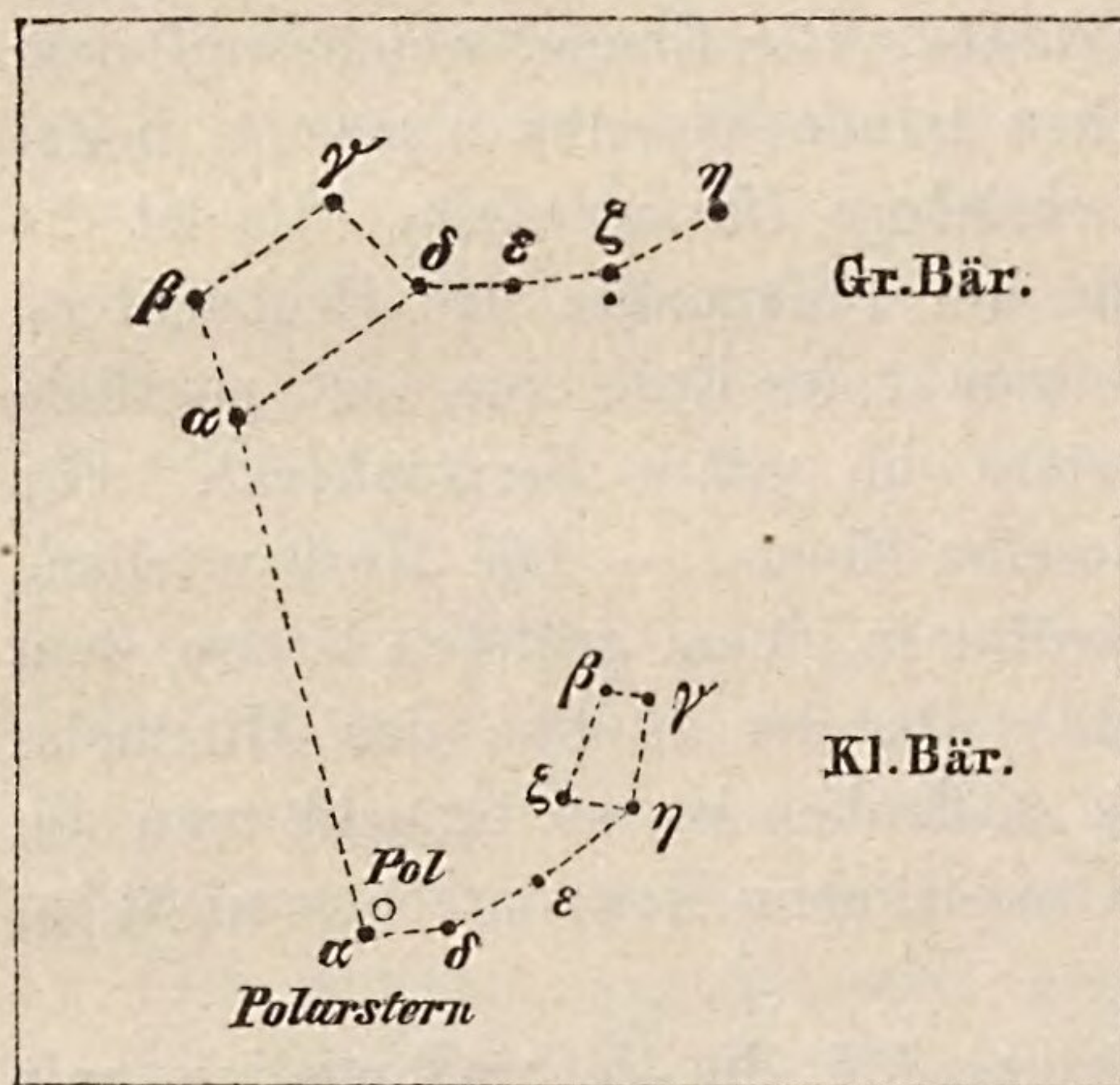


Fig. 9.

Fragen. Was wird man unter dem Abstand eines Punktes der Kugel von einem darauf gelegenen Großkreise zu verstehen haben und welches Maximum hat dieser Abstand. — Was ist der Abstand eines Punktes von einem Kleinkreise und wie groß ist sein Maximum.

§ 10. Weitaus die größte Zahl von Sternen

behält für das unbewaffnete Auge die gegenseitige Lage unverändert bei. Die Distanzänderungen dieser Sterne unter sich sind nur mit Hülfe von Fernröhren wahrzunehmen. Es sind das die *Fixsterne*. Sie sind schon in sehr alter Zeit in Gruppen zusammengefaßt worden, welche man *Sternbilder* oder *Konstellationen* nennt. Fig. 9 stellt die Hauptteile dar vom großen Bären oder Wagen und vom kleinen Bären mit dem Polarstern. Beide sind bei uns das ganze Jahr hindurch sichtbar. Fig. 10 repräsentiert die Hauptgruppe des Orion, am Abend sichtbar, gegen Ende des Winters. — Solcher Sternbilder giebt es 84. Innerhalb des Sternbildes werden die einzelnen Sterne oft durch besondere Namen ausgezeichnet (Fig. 10 Rigel im Orion) und es ist das bei den hellsten der Fall. Immer aber werden den Sternen zur leichteren Unter-

scheidung die Buchstaben des griechischen Alphabetes, eventuell auch Zahlen beigegeben, wobei den hellsten Sternen immer

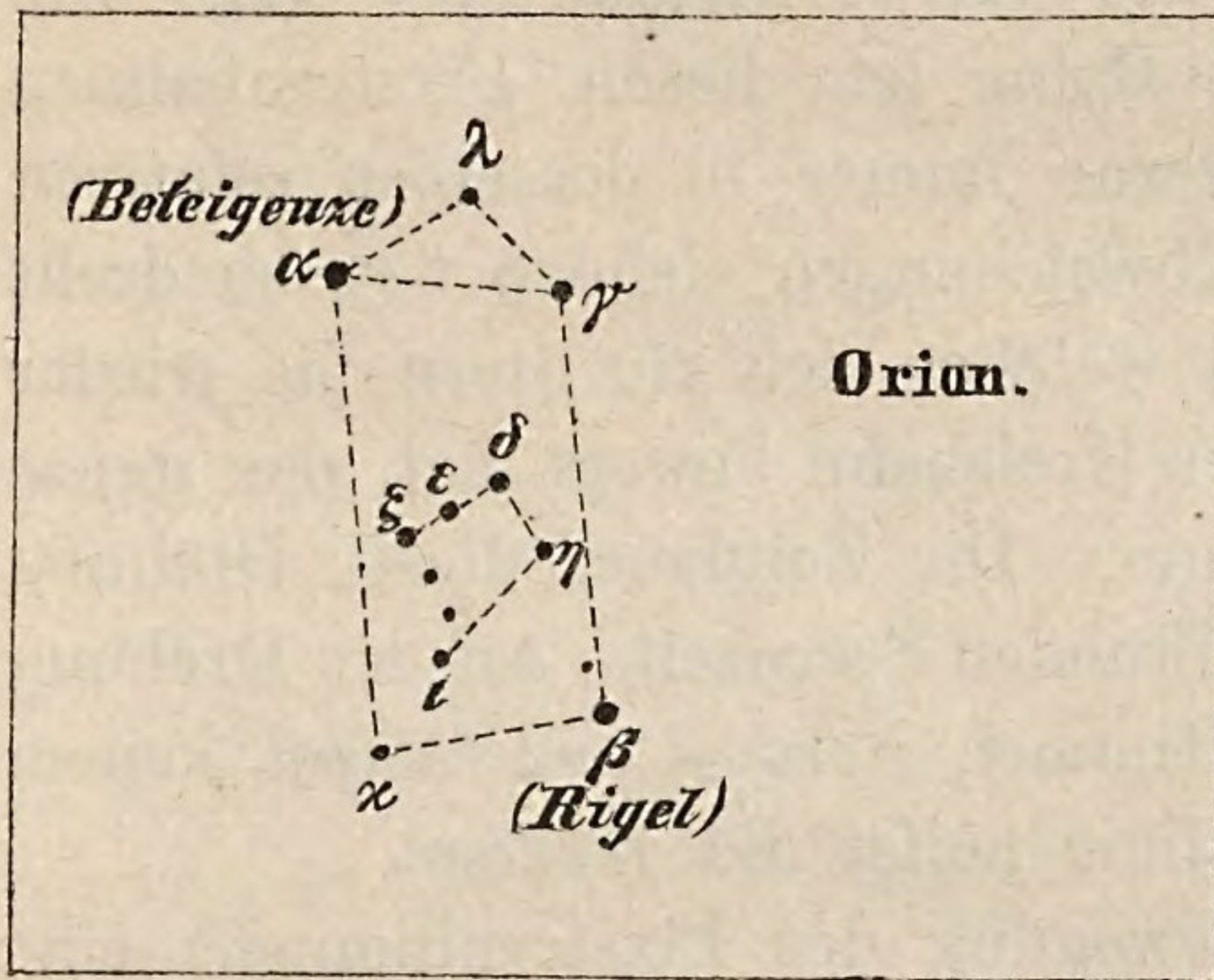


Fig. 10.

die ersten Buchstaben zufallen. Das Zusammengehören der bedeutenderen Sterne in den Bildern wird außerdem in den Karten des Himmels durch Verbindungslinien (Alignements) klar gemacht. (Fig. 9 und 10.) — Was man für gewöhnlich „große Sterne“ nennt,

heißt genau genommen helle Sterne. Denn ein Fixstern kann im Verhältniß zu einem anderen, an und für sich viel größeren Fixsterne so nahe bei uns sein, daß sein Glanz den des größeren aber bedeutend entfernteren übertrifft.

Frage. Wenn man Sonne und Erde aus einer Entfernung im Weltenraume sehen würde, die viel mal so groß wäre wie der Abstand der Erde von der Sonne, welcher Anblick bezüglich der Helligkeit der beiden Himmelskörper würde sich darbieten.

§ 11. Die bekannteste Erscheinung am Himmelsgewölbe ist die, daß die Sonne jeden Morgen am östlichen Teile des Horizontes sichtbar wird, bis gegen Mittag sich am höchsten über den Horizont erhebt und Abends am östlichen Horizont untergeht. Die tägliche Bahn der Sonne ist einer jährlichen, periodischen Veränderung unterworfen. — Auch die Fixsterne beschreiben solche Bahnen am Himmel, wie man sich leicht mit bloßem Auge überzeugen kann. Man betrachte z. B. die Lage des Orion oder des großen Bären Abends bald nach Untergang der Sonne und dann wieder einige Stunden später, so wird man diese Bewegung leicht konstatieren. Besser zeigt sich das in einem fest aufgestellten Fernrohre, das nach einem Sterne gerichtet ist. Der Stern bewegt sich fort und wird bald nicht mehr gesehen, wenn man nicht das Fernrohr entsprechend dreht.

Die von den Sternen beschriebenen Bogen gehören Kreisen an, welche bei uns schief, am Äquator aber senkrecht zum Horizont gelegen sind. Die am vorhergehenden Tage von der Sonne durchlaufene Bahn ist diesen Fixsternbahnen parallel. — Da die Fixsterne immer in derselben relativen Lage sind, (über kleine Abweichungen siehe § 63), so dreht sich in derselben Zeit, in welcher sich ein Stern bis wieder zum nämlichen Punkte der Kreisbahn bewegt hat, das ganze Himmelsgewölbe einmal um. Die Zeitdauer dieser Drehung ist der *Sterntag* gleich 24 Stunden Sternzeit. An der Drehung nehmen zwei Punkte am Himmel, *Nordpol* und *Südpol*, keinen Anteil. Ihre Verbindungslinie heißt die *Weltaxe*.

Da diese tägliche Bewegung des Fixsternhimmels eine Folge der Erdrotation ist, so erkennt man a) daß die Weltaxe mit der Erdaxe zusammenfällt, und b) daß die Erde sich in einem Sterntage um ihre Axe dreht.

Durch die beiden Himmelspole (Nordpol siehe Fig. 9 § 10) sowie durch Zenith und Nadir läßt sich ein Großkreis legen, es ist das der *Meridian* des Ortes. Er ist der Schnitt der Ebene, die bei der Erde den Meridian des Ortes und dessen Gegenmeridian enthält, mit dem Himmelsgewölbe. Meridianebene und Horizontebene stehen senkrecht zu einander und schneiden sich in der *Mittagslinie* des Beobachtungsortes.

Fragen. Welchen Himmelspol sieht man auf der nördlichen, welchen auf der südlichen Erdhalbkugel, welchen am Äquator. Wo sieht ein Beobachter am Erdpol den Himmelspol.

§ 12. Denkt man sich von einem Punkte beim Auge des Beobachters nach allen Punkten des Himmels Radien (Sehstrahlen) gezogen und schneidet man alle durch eine Kugel, die jenen Punkt zu ihrem Centrum hat, so erhält man auf dieser Kugel ein genaues Bild des Himmelsgewölbes. Wir werden in Zukunft diesen Globus in der Benennung des Ganzen und der Teile nicht vom Himmelsgewölbe selbst unterscheiden.

§ 13. Fig. 11 stellt das Himmelsgewölbe dar in der Zeichnung durch den Meridian begrenzt. Auf demselben sind die Pole angedeutet, sowie Zenith und Nadir. Der Beobachter ist in *M*, unter ihm ist die Erde als kleine Kugel zu denken,

welche die Ebene des Horizontes in M tangirt. Die Ebenen

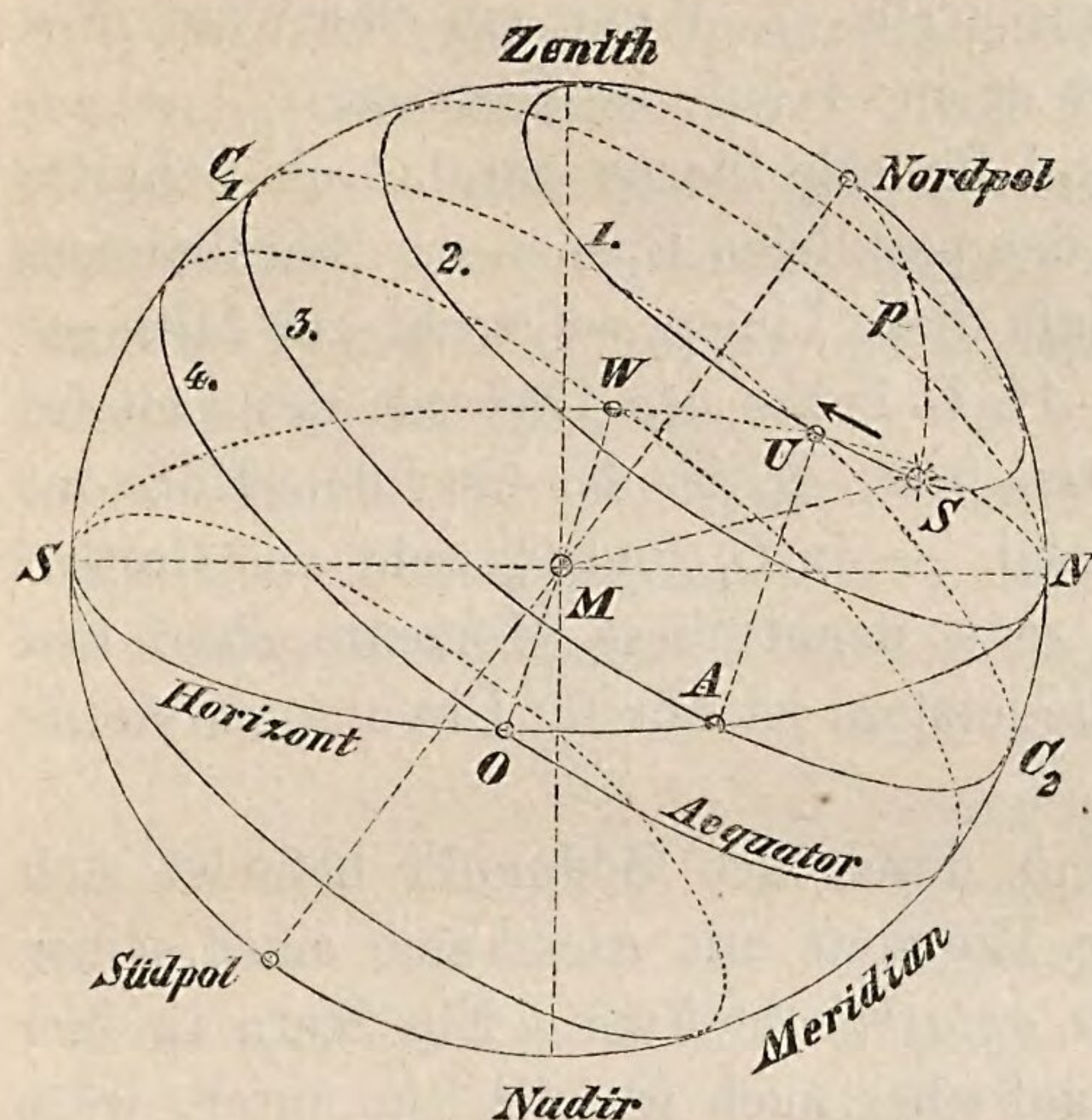


Fig. 11.

durch Horizont und Meridian schneiden sich in der Mittagslinie NS , wobei N der Nordpunkt, S der Südpunkt ist. Zur Weltaxe ist in M eine senkrechte Ebene gelegt, welche die Kugel im Kreise 4, dem Äquator, schneidet. Letzterer kann auch erklärt werden als der Schnitt der Erdäquatorebene mit dem Himmelsgewölbe,

und man kann die Weltaxe als die durch M gehende Parallele zu der Erdaxe ansehen (s. § 9).

Die beiden Pole kann man nun zu einer *Einteilung des Himmels* benutzen. Der zugehörige Äquator ist bereits eingeführt. Die Kreise 1, 2, 3 sind parallel zum Äquator und heißen *Parallelkreise*. Ihre sphärischen Centra sind die Pole. — Auf 1 ist der Stern S . Er hat eben diesen Kreis 1 zu seiner täglichen Bahn. Nach je einem Sterntage gelangt S wieder an die nämliche Stelle von 1. Dabei bleibt der Abstand p vom Nordpol sich gleich.

Die gesamte Bahn von S ist über dem Horizont gelegen, er kann somit für den Standort M auf der Erde weder auf- noch untergehen, er ist ein *Circumpolarstern*. Die äußersten Circumpolarsterne sind auf dem Kreise 2 gelegen. Auch dieser Parallelkreis ist noch ganz über dem Horizont, berührt ihn aber im Nordpunkte, er heißt der *arktische Kreis*. Zwischen ihm und dem Nordpol ist die *arktische Zone*. Der Äquator 4 wird durch den Horizont halbiert in den Punkten O und W , dem *Ost-* und *Westpunkte* des Horizontes. Somit geht ein im Äquator befindlicher Stern genau im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter. Er hat von allen Sternen den größten

Kreis innerhalb des Sterntages zu durchlaufen, mithin ist seine Bewegung die rascheste. — Wenn ein Stern auf dem Parallel 3 ist, so geht er in A auf, in U unter.

Die Linien AU sind für alle Sterne parallel als Schnitte der Horizontebene mit den parallelen Ebenen der Sternbahnen. Aus $AU \parallel OW$ folgt, daß diese Linien senkrecht zur Mittagslinie sind. Die Linie AC_1U heißt der *Tagbogen* des sich im Kreise 3 bewegendem Gestirns. Er ist der über dem Horizont befindliche Teil der Bahn. — In C_1 und C_2 geht das Gestirn durch den Meridian, man nennt diese Momente *obere und untere Kulmination*. Die letztere ist nur für Circumpolarsterne sichtbar.

Der Parallelkreis 5 durch den Südpunkt befindet sich schon ganz unter dem Horizont mit Ausnahme eines seiner Punkte. Er heißt der *antarktische Kreis*. Ein Stern in ihm ginge im Südpunkte auf aber auch gleichzeitig unter, wäre also nur einen Moment sichtbar. Zwischen 5 und dem Südpol befindet sich die *antarktische Zone*. Die Sterne in ihr sind für den Beobachter gar nicht sichtbar. — Die Zone zwischen den arktischen Kreisen ist die *Zone der auf- und untergehenden Sterne*, sie wird durch den Äquator halbiert.

Der Äquator halbiert das ganze Himmelsgewölbe und man unterscheidet *nördlichen* und *südlichen Himmel*. Diese Bezeichnung wird auf die einzelnen Gestirne übertragen. Ein *nördliches Gestirn* z. B. liegt zwischen Äquator und Nordpol. Da die täglichen Bahnen der Fixsterne Parallelkreise sind, also den Äquator nicht schneiden, so ist jeder Fixstern stets nördlich oder stets südlich.

Es wurde schon gesagt, daß die tägliche Bahn der Sonne ebenfalls ein Parallelkreis sei. Aber es verändert sich derselbe von Tag zu Tag. Die Sonne unterscheidet sich auch noch dadurch von den Fixsternen, daß sie zum Durchlaufen ihrer täglichen Bahn ca. 4 Minuten mehr Zeit gebraucht. Die Sterne vollenden also ihre Kreise rascher und es bleibt die Sonne zurück. Diese Differenz wird später bei genauer Angabe der Zeiteinteilung näher betrachtet werden. (§ 36.)

Um sich nun an irgend einer Stelle der Erde vorläufig zu orientieren, kann man den täglichen Lauf der Sonne ver-

folgen. Alsdann kennt man schon ungefähr die Richtungen MN , MS , MO , MW , die vier Hauptrichtungen im Horizont oder die „Himmelsrichtungen“. Nach Fig. 9 kann man auch bei Nacht sich über die ungefähre Lage dieser Richtungen klar werden, indem man am Himmel von den Sternbildern der Bären zum Polarsterne geht, dann herunter auf den Horizont, so hat man MN u. s. w.

In Fig. 11 ist der Winkel $N-M$ -Nordpol die Höhe des Poles über dem Horizont. Dreht man die Mittagslinie um den Punkt M um jenen Winkel herauf, so ist die Endlage

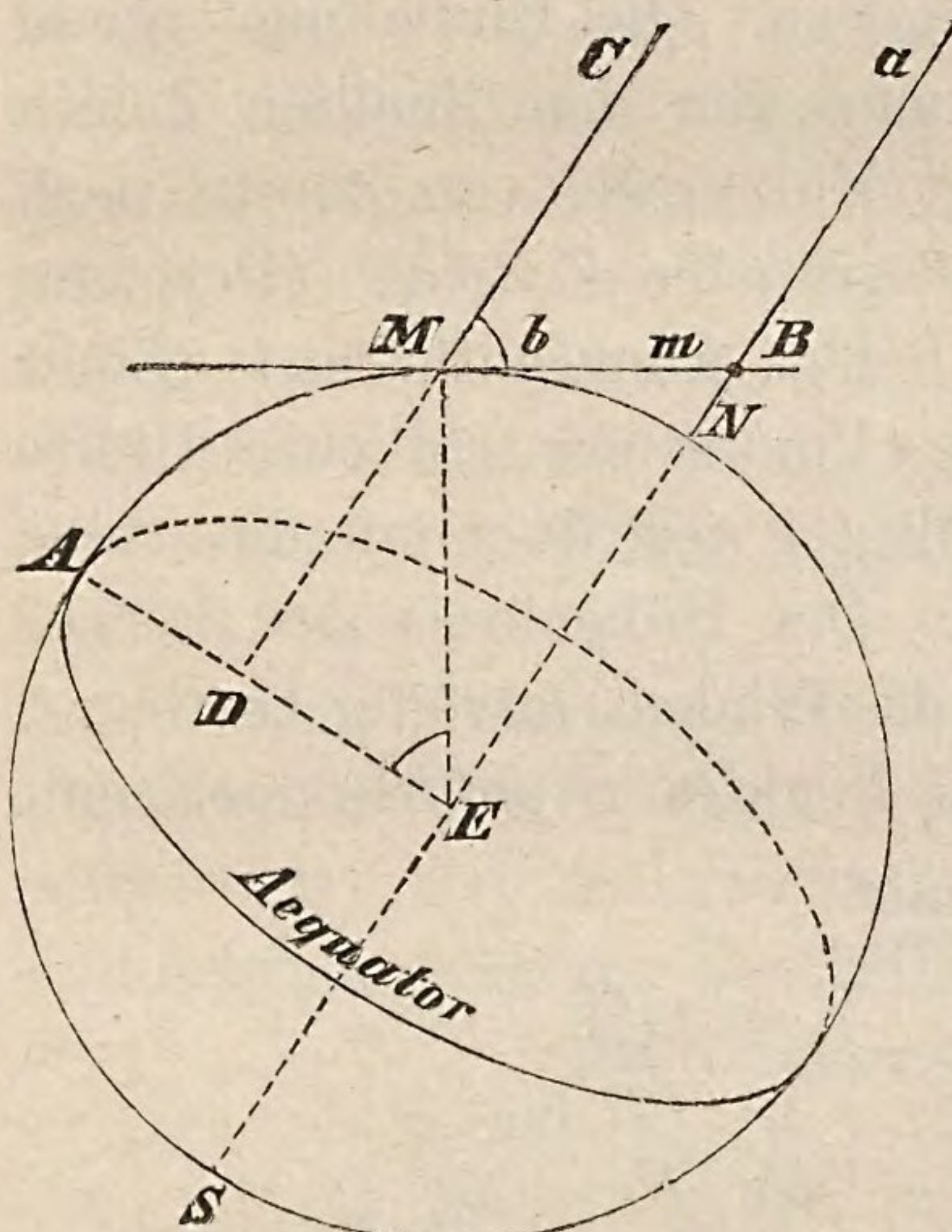


Fig. 12.

die Weltaxe. Fig. 12 soll nun zeigen, wem jener Winkel, die *Polhöhe*, gleich ist. Bei M ist der Beobachter auf der Erde. Sein Erdmeridian ist SAN , wobei S und N Süd- und Nordpol der Erde bedeuten. Die Meridiantangente m ist die Mittagslinie in der Horizontebene des Beobachters. (Siehe Fig. 2.) Zu der Erdaxe $SN = a$ ist MC parallel gezogen. Somit erscheint dem Beobachter bei M der Himmelspol in der Richtung MC . Der Winkel b

ist also nach vorhin die *Polhöhe*. — Der Äquator trifft nun den Meridian von M in A und dann ist $\angle AEM$ die geographische Breite für M . Dieselbe ist aber gleich b , da die Schenkel beider Winkel senkrecht zu einander stehen. Es gilt somit allgemein der Satz: *Die Polhöhe für einen Beobachter ist gleich seiner geographischen Breite.*

Da die Ebenen der Kreise 1, 2, 3, 4 in Fig. 11 sämtlich senkrecht stehen zur Erdaxe, so sind sie unter sich parallel und bilden mit der Horizontebene gleiche Winkel. Die wichtigste dieser Ebenen ist die Äquatorebene. Diese bildet aber mit dem Horizont den Winkel $90^\circ - b$, welcher Winkel die *Äquatorhöhe* genannt wird: *Die Äquatorhöhe für*

irgend einen Ort auf der Erde ist das Komplement der Polhöhe resp. der geographischen Breite dieses Ortes.

Fragen. Wie ändern sich Pol- und Äquatorhöhe, wenn der Beobachter auf der nördlichen Erdhalbkugel um 1° nördlich geht. Man gebe die Fig. 11 entsprechende Einteilung der Himmelskugel für ein Auge am Äquator resp. am Pol der Erde an.

§ 14. *Horizontkoordinaten.* Wie man auf der Erde einen Ort durch geogr. Länge und Breite angeben kann, ist es möglich, durch Angabe zweier Winkel die Lage eines Punktes am Himmel unzweideutig anzugeben. Die Einteilung ergibt sich ganz von selbst, wenn man von den Punkten Zenith und Nadir ausgeht. Man legt Halbkreise von Zenith nach Nadir, ein jeder heißt *Höhenkreis* oder *Vertikal*. (Der zum Horizont parallele Kreis K heißt *Almucantharat*.) Einer unter ihnen ist der Meridian. Von seiner südlichen Hälfte aus werden die Winkel gezählt (er vertritt somit die Stelle des Anfangsmeridians in § 2). Der Höhenkreis des Sternes S in Fig. 13 ist durch Angabe des Winkels w völlig bestimmt. Man nennt w das *Azimut* des Punktes S am Himmel (ent-

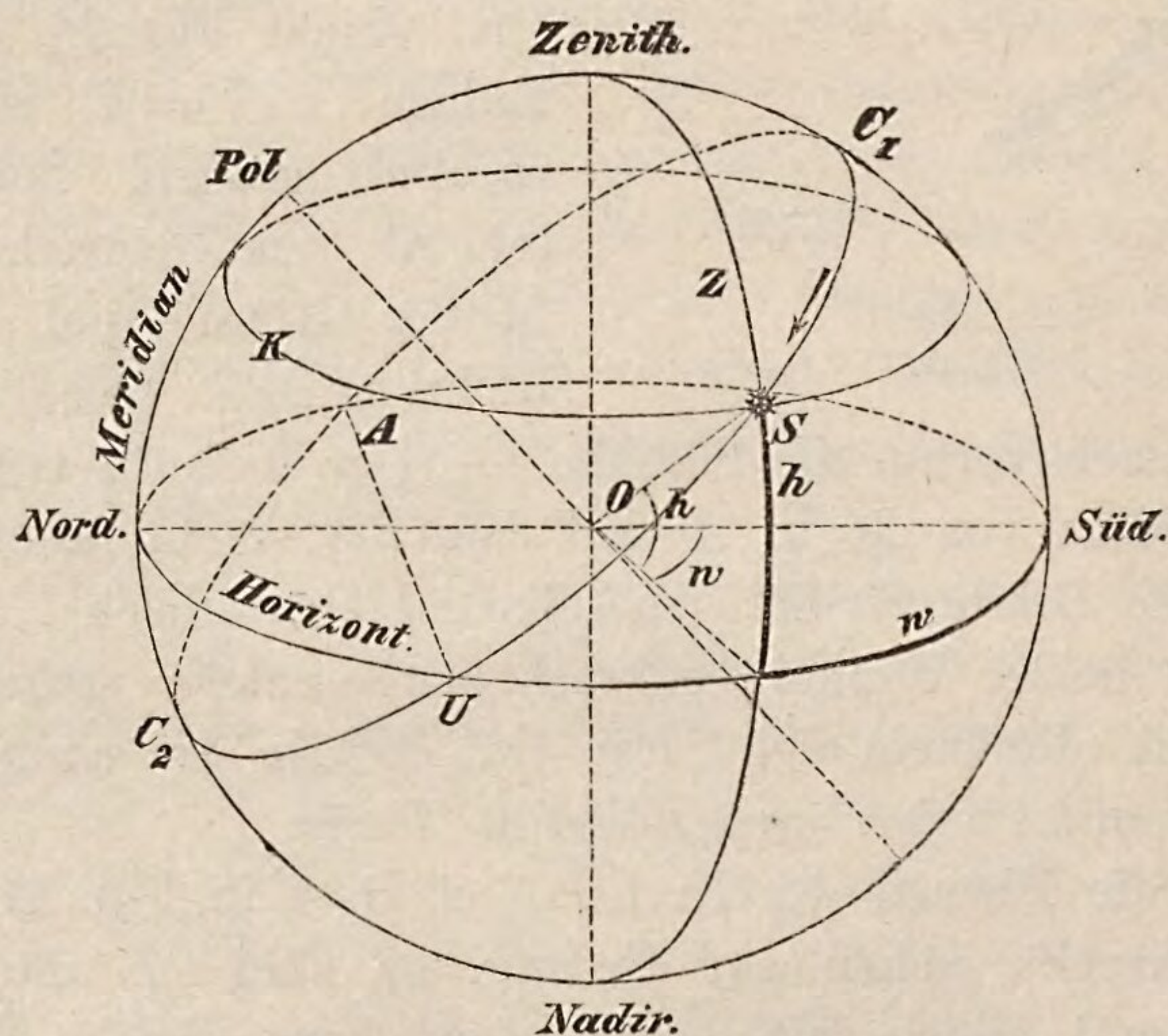


Fig. 13.

sprechend der geogr. westlichen Länge). Der Bogen auf dem Vertikal gezählt vom Äquator bis S heißt die *Höhe* des Sterns.

Sie ist das Analogon der geogr. Breite eines Punktes der Erde. Das Komplement der Höhe, $z = 90^\circ - h$, heist die *Zenithdistanz*.

Die tägliche Bewegung von S ist in Fig. 13 angedeutet. Der Stern war kurz zuvor in oberer Kulmination bei C_1 . Er geht dem Untergangspunkte U entgegen. Bei C_2 ist er in unterer Kulmination und in A geht er wieder auf. Denkt man sich in jeder Lage den Vertikal konstruiert und mit Hülfe desselben w und h gemessen, so erkennt man Folgendes: Bei C_1 ist die Höhe ein Maximum, das Azimut gleich 0. Bei U ist $h = 0$, dann wird die Höhe negativ, währenddem w bis 180° wächst. Bei C_2 ist die Höhe ein Minimum (größter negativer Wert). Geht der Stern von C_2 bis A , so wächst die Höhe bis 0 und für A ist das Azimut um so viel größer als 180° , als es bei U kleiner war. Von A bis C_1 wächst die Höhe bis zum Maximum und w bis 360° . — Man erkennt, daß das Azimut von 0° bis 360° stetig gewachsen ist.

Nicht für alle Gestirne ändern sich h und w in der eben angegebenen Weise. Fig. 14 enthält die Bahn eines Circumpolarsterns, welcher zwischen Zenith und Pol zur oberen Kulmination gelangt. Die Höhe schwankt zwischen zwei be-

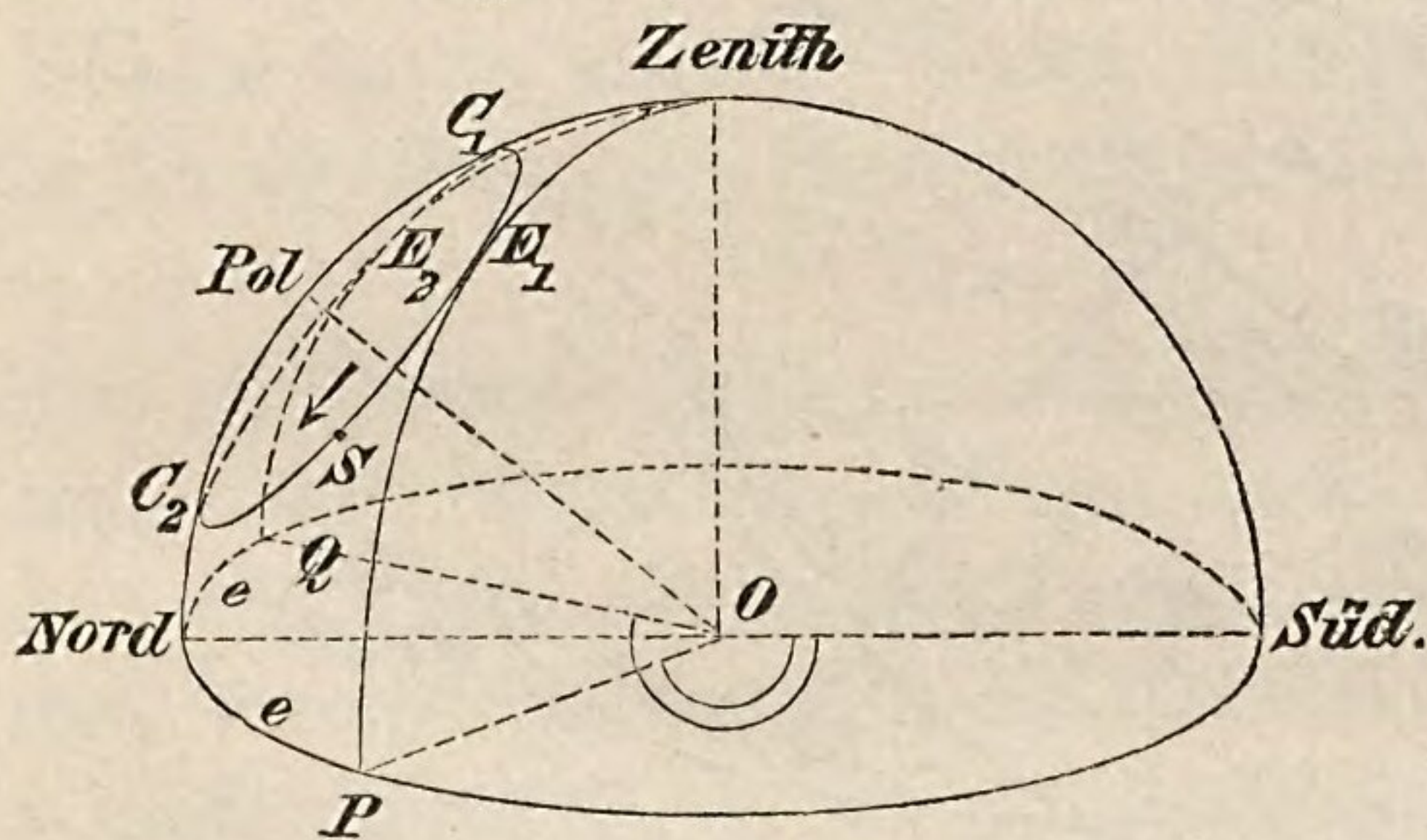


Fig. 14.

stimmten Grenzen, den Kulminationshöhen, die hier beide positiv sind. Das Azimut wächst von $180^\circ - e$ bis $180^\circ + e$ und schwankt fortwährend zwischen diesen Grenzen. Bei

E_1 angelangt ist das Azimut ein Minimum, der Stern bewegt sich einen Moment im Vertikal; in diesem Momente nimmt die Höhe ab, w aber bleibt sich gleich. Er ist am weitesten vom Meridian entfernt, es ist das der Moment seiner *Elongation*. Man erkennt, daß zwei Elongationen stattfinden; die zugehörigen Winkel sind beidemale gleich e .

Aus dem Vorangehenden ist folgendes ersichtlich, be-

treffend die Angabe der Lage eines Sterns am Himmel mit Hülfe der *Horizontkoordinaten*: Vom Südpunkte aus geht man im Horizont um das Azimut im Sinne der täglichen Bewegung Ost-West weiter und von dort um die Höhe nach dem Zenith oder Nadir, je nachdem die Höhe positiv oder negativ ist. — Die Zenithdistanz liegt zwischen den Grenzen 0^0 und 180^0 . — Die Vertikalkreise nach dem Ost- und Westpunkte heißen zusammen „erster Vertikal“. Derselbe ist somit zum Meridian senkrecht.

Fragen. Hat ein negatives Azimut auch einen Sinn. Welches ist der tägliche Gang für einen Stern, der im Zenith zu oberer Kulmination gelangt. Wie kann man die Höhe der Sonne oder des Mondes aus der Schattenlänge eines vertikal aufgestellten Stabes finden.

§ 15. *Aquatorkoordinaten.* Um in Fig. 15 die Lage eines Gestirns anzugeben, teilen wir das Himmelsgewölbe von seinen Polen aus ein. Der zugehörige Äquator ist bei früherer Gelegenheit bereits eingeführt worden (§ 13). Jeder Halbkreis Nordpol-S-Südpol heißt *Deklinationkreis* (anstatt Meridian) und jeder Kreis senkrecht zur Weltaxe *Parallel*. Die Lage von S ist durch $d = \text{Deklination}$ und $a = \text{Rektascension}$ bestimmt.

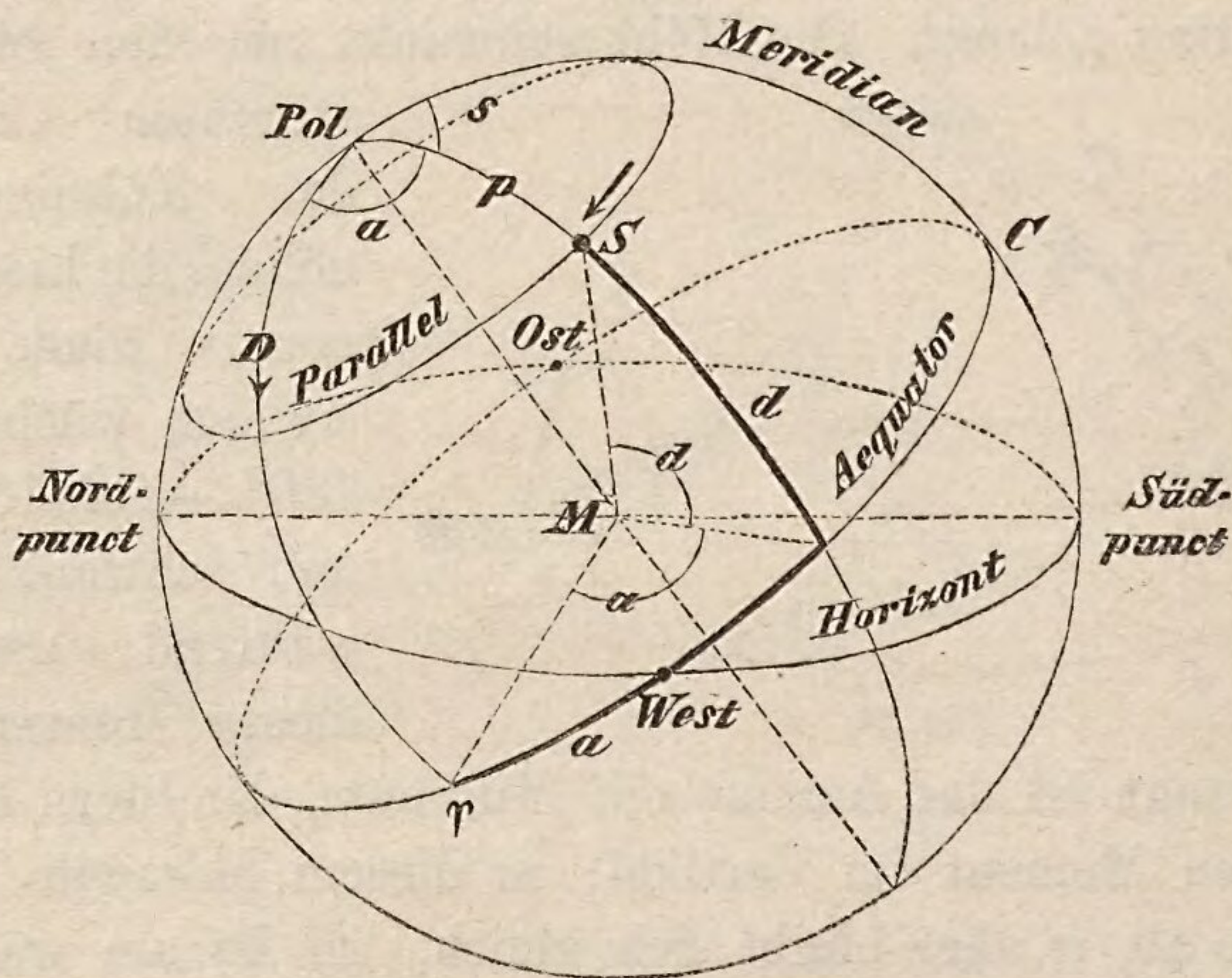


Fig. 15.

Erstere zählt man vom Äquator aus nach Nord- und Südpol positiv und negativ je von 0 bis 90^0 , so daß nördliche Sterne positive, südliche dagegen negative Deklination haben. Der

durch S gehende Parallel ist die tägliche Bahn des Sterns, also ist d unveränderlich.

Im Himmelsäquator ist der Punkt γ , der sog. *Frühlingspunkt*, dessen wahre Bedeutung später erkannt wird, ausgezeichnet. Von ihm aus resp. von seinem Deklinationskreise D aus zählt man die Rektascension entgegengesetzt mit der täglichen Bewegung. Dieser γ -Punkt macht die tägliche Bewegung des Himmels mit. Er geht also stets genau im Ostpunkte des Horizontes auf, in dessen Westpunkte unter. Andererseits aber ist die Rektascension von S ebenfalls konstant, da sich eben der γ -Punkt an der Drehung des Himmels beteiligt. — In Fig. 15 ist a positiv, es kulminiert diesfalls der γ -Punkt früher als der Stern. Der Deklinationskreis D heißt *Kolur der Nachtgleichen*, er vertritt in Vergleich zu den geogr. Koordinaten die Stelle des Anfangsmeridians.

In der Fig. bedeutet p die konstante Poldistanz des Sterns. Zugleich ist p der sphärische Radius der Sternbahn. *Poldistanz und Deklination sind komplementär*. Der Winkel s , gebildet durch den Meridian und den Deklinationskreis von S , heißt der *Stundenwinkel des Sterns*. Man kann ihn auch auf dem Äquator messen, von dessen eben kulminierenden Punkte C aus im Sinne der täglichen Bewegung. Der entsprechende Winkel für D , also der Winkel des Meridians mit der Kolur, heißt die *Sternzeit*. Hierbei findet die Gleichheit statt

$$t = a + s,$$

d. h. die Sternzeit ist in jedem Momente gleich der Rektascension irgend eines Sterns vermehrt um dessen Stundenwinkel.

Die fortwährend gleichförmige Drehung des Himmels bietet ohne Zweifel die natürlichste Zeiteinteilung dar. Jede vollständige Umdrehung ist ein *Sterntag*. Wenn der γ -Punkt kulminiert, so beginnt derselbe und dauert bis zur nächsten Kulmination. Er ist, wie schon erwähnt wurde, um ca. 4 Minuten kleiner als einer unserer gewöhnlichen Tage. Man teilt ihn ein in 24 Stunden à 60 Minuten à 60 Sekunden. Bezeichnet man Tag, Stunde, Minute und Sekunde durch d , h , m , s , wie in Zukunft immer geschehen soll, so ist in Sternzeit

$$1^d = 24^h, 1^h = 60^m, 1^m = 60^s.$$

Da nun der γ -Punkt alle 24 Stunden den Äquator als Bahn gleichförmig durchläuft, so kann man die Sternzeit t (vorhin ein Winkel), also auch Stundenwinkel und Rektascension, in Zeit ausdrücken, und umgekehrt die Sternzeit in Winkelmafs. Hierzu dienen folgende Tabellen

$$\begin{array}{r|l} 1^d = 24^h = 360^0 & 15^0 = 1^h \\ 1^h = 15^0 & 1^0 = 4^m \\ 1^m = 15' & 1' = 4^s \\ 1^s = 15'' & 1'' = \frac{1^s}{15} \end{array}$$

Man erhält aus vorigem folgendes Resultat: *Sternzeit, Stundenwinkel und Rektascension in „Sternzeit“ verwandelt geben an 1) vor wie viel Zeit der γ -Punkt kulminierte (d. i. die Zeit im Sterntage, gezählt bis 24 Uhr), 2) vor wie viel Zeit der Stern kulminiert hat, 3) wie viele h, m, s der γ -Punkt früher kulminiert als der Stern.*

Um die Rektascension $63^0 19' 31''$ in Zeit zu verwandeln, hat man nach der Tabelle

$$63^0 19' 31'' = 4^m \cdot 63 + 4^s \cdot 19 + \frac{31^s}{15} = 4^h 13^m 18^s,07.$$

In analoger Weise verwandelt man Zeit in Winkelmafs.

Man habe eine Uhr die mit den Sternen geht, so macht ihr Stundenzeiger in jedem Sterntage genau eine Umdrehung, das Zifferblatt ist bis XXIV geteilt und einer gewöhnlichen Uhr geht sie jeden Tag um ca. 4^m voraus. Weifs man zu welcher Zeit an dieser Uhr abgelesen heute der γ -Punkt kulminiert, ferner zu welcher Zeit ein Stern kulminiert, so ist die Differenz dieser Zeiten die (in Zeit ausgedrückte) Rektascension des Sterns. — Oder, kulminiert ein Stern S_1 , dessen Rektascension a_1 man kennt, um t_1^h (spr. „ t_1 Uhr“), ein anderer Stern von unbekannter Rektascension a_2 zur Zeit t_2^h , also $(t_2 - t_1)^h$ später als S_1 , so verwandle man mit Hülfe obiger Tabelle $(t_2 - t_1)^h$ in einen Winkel, zähle ihn zu a_1 und hat die Rektascension a_2 gefunden

$$a_2 = a_1 + (t_2 - t_1) \cdot 15^0.$$

Hierbei geschieht die Verwandlung in einen Winkel nach oben gegebenem Zahlenbeispiel.

Fragen. Für den Stern S_1 sei $a_1 = 63^0 19' 31''$, er

kulminiert um $4^h 7^m 44^s$, der Stern S_2 aber um $15^h 11^m 47^s$; wie groß ist die Rektascension α_2 von S_2 . — Was geschieht, wenn $t_2 < t_1$.

III.

Instrumente zur Beobachtung.

§ 16. Die *Axenlibelle* ist ein Hülfsinstrument und dient dazu, Linien und Ebenen in genau horizontale Lage zu bringen. Die gewöhnliche Form ist eine cylindrische Glasröhre E , Fig. 16, in einer Einfassung CD zum Schutze der Röhre. Die Unterlage AB von der Form eines flachen Lineals von rechtwinkligem Querschnitt hat den Zweck, die Libelle auf ebene Flächen auflegen zu können.

Die Röhre E ist in der Längsrichtung schwach gebogen und mit Flüssigkeit nahezu gänzlich gefüllt. Immerhin ist

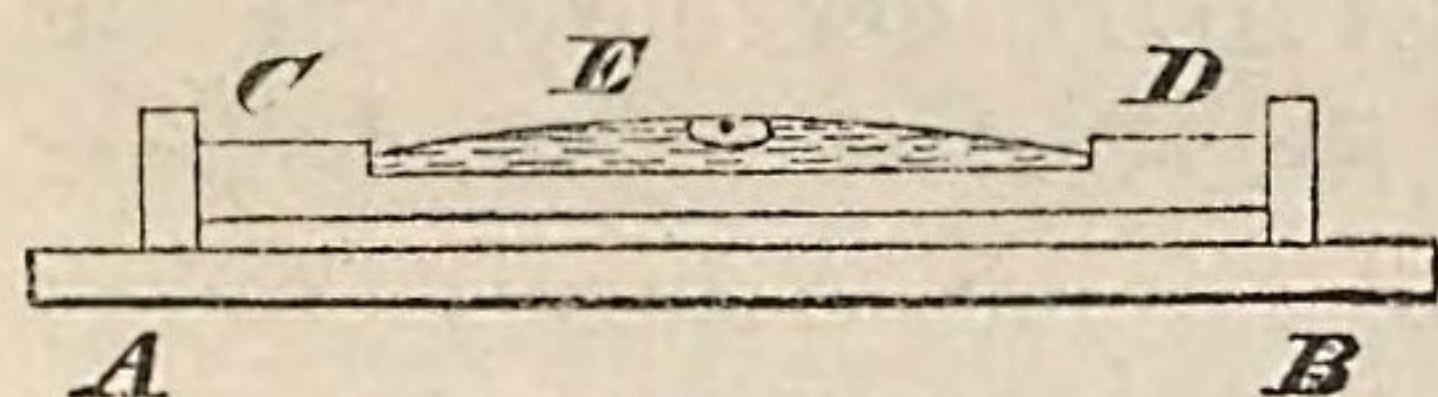


Fig. 16.

noch eine Luftblase vorhanden, welche in der Röhre immer die höchste Stelle einnimmt. Wenn diese Luftblase gerade in der

Mitte der Röhre ist, so muß die Fläche AB in der Richtung von A nach B horizontal sein. Darum ist denn auch die Mitte der Röhre durch eine in das Glas eingeritzte Marke angedeutet.

Würde die Libelle gegen B hin gesenkt, so würde sich die Luftblase gegen A hin bewegen, d. h. einen „Ausschlag“ ergeben. Hat man die Libelle um das Ende bei A um 1° gedreht, wobei B sich gesenkt hat, so geht die Blase gegen A hin; der Weg der Blase ist der Bogen, der zum Centriwinkel 1° gehört — die Biegung der Röhre in der Längsrichtung als genau kreisförmig vorausgesetzt. Der Ausschlag bei Drehung um denselben Winkel ist somit proportional dem Radius des Kreises, unter welchem die Röhre in der Längsrichtung gebogen ist. Damit nun das Instrument sehr „empfindlich“ wird, d. h. eine Verschiebung aus der horizontalen Lage durch starken Ausschlag der Luftblase sofort an-

deute, muß der Radius jener Krümmung sehr groß sein. — Theoretisch ist die Möglichkeit geboten, aus der Größe des Ausschlags auf die Abweichung von der horizontalen Lage zu schließen.

Um sich zu überzeugen, daß eine ebene Fläche genau horizontal ist, hätte man die Libelle nur in zwei verschiedenen Richtungen auf diese Fläche zu legen und nachzusehen, ob die Blase jedesmal in der Mitte einspielt.

Wenn man in Fig. 16 die Libelle, die jetzt einspielt, um 180° dreht, so daß A nach B , B nach A kommt, so muß die Blase wieder einspielen. Geschieht das nicht, so ist die Tangentialebene bei der Marke an die innere Röhrenfläche nicht parallel der Unterlage AB und somit das Instrument ungenau.

§ 17. Die *Dosenlibelle* giebt die Entscheidung über die horizontale Lage einer ebenen Fläche durch einmaliges Auf-

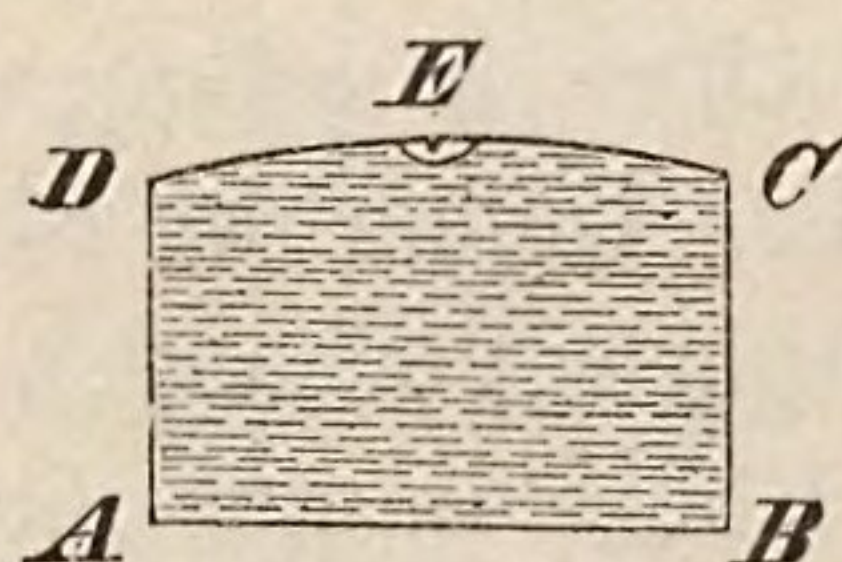


Fig. 17.

legen. Das Instrument, von dem Fig. 17 einen Querschnitt darstellt, besteht aus dem Metallcylinder $ABCD$, der durch die aus Glas geformte Kugelkalotte CDE bedeckt ist. Das Ganze ist mit Weingeist soweit gefüllt, daß noch eine kleine Luftblase bleibt, die dann immer die höchste Stelle im Gefäße einnimmt. Spielt sie genau in der Mitte E ein, so ist die Unterlage von AB genau horizontal — wenn nämlich die Tangentialebene der Kalotte bei E genau parallel zu AB ist. Bezüglich der Empfindlichkeit wird auf die Axenlibelle verwiesen.

Frage. Warum eignen sich Röhrenlibelle von genau cylindrischer Form, ebenso Dosenlibelle mit flachem Glasdeckel nicht zur Horizontalstellung.

§ 18. Das *Fernrohr* (Teleskop) hat zwei Anforderungen zu genügen: Man soll ferne Gegenstände deutlicher sehen als es mit bloßem Auge möglich ist und anderseits über die Richtung, in der diese Gegenstände sich befinden, genauen Aufschluß erhalten.

Ohne auf Spiegelteleskope u. a. hier einzugehen, soll nur das eigentliche astronomische Fernrohr kurz beschrieben werden. In einer im Inneren schwarzen Röhre sind zwei

Glaslinsen angebracht. Die eine ist an dem Ende gegen das Objekt hin, *Objektiv* genannt, die andere ist unmittelbar vor dem Auge des Beobachters und heisst *Okular*. Die Objektivlinse ist eine sog. Sammellinse, sie entwirft von dem Objekte ein verkehrtes Bild, welches durch das Okular als Lupe betrachtet wird. Durch Anwendung verschiedener Lupen als Okulare kann man verschiedene Vergrößerungen erzielen. Begreiflicherweise geschieht die starke Vergrößerung auf Kosten der Helligkeit.

Sieht man durch das Fernrohr an den Himmel, so bemerkt man einen Kreis, der das Sichtbare umschliesst. Seine Fläche heisst das *Gesichtsfeld*. Um aber das Fernrohr auf einen bestimmten Punkt des Himmels einstellen zu können, oder um das Gesichtsfeld einzuteilen, bringt man im Fernrohr zwei oder mehr feine Fäden an, wie Fig. 18 zeigt.

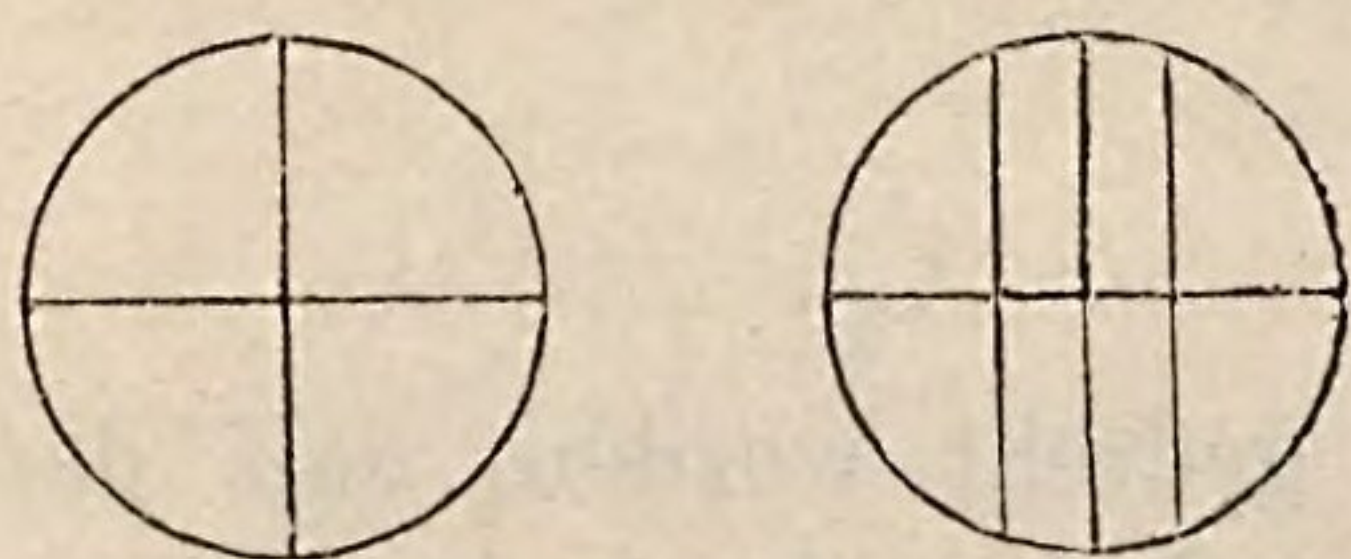


Fig. 18.

Dieselben müssen in der Bildebene des Objektivs sein. Diese Fäden heissen *Fadenkreuz* und das Instrument ist alsdann ein Fernrohr mit Fadenkreuz. — Fig. 18

stellt nun das Fadenkreuz selbst dar oder auch das Gesichtsfeld mit den Fadenbildern.

Bei Beobachtungen zur Tageszeit müssen die Fäden dunkel sein. Zur Nachtzeit aber werden sie durch ein seitlich vom Fernrohr aufgestelltes Licht beleuchtet, die Hülse des Fernrohres muss also seitlich durchbrochen sein.

Der Schnittpunkt der Bilder der beiden Mittelfäden ist der Mittelpunkt des Gesichtsfeldes. Dieser Punkt, sowie die Mittelpunkte der beiden Linsen liegen im Allgemeinen in einer Geraden, welche die *Axe* des Fernrohrs heisst.

Frage. Warum muss ein gutes Fernrohr eine grosse Objektivlinse haben.

§ 19. Der *Spiegelsextant* dient zur Bestimmung von beliebigen Winkeln (Sterndistanzen). An dem Kreisausschnitt *ABC*, Fig. 19, ist der Spiegel *D* fest. Seine Ebene ist senkrecht zu *ABC* und parallel *AB*. Bei *B* ist ein drehbarer Spiegel, die Axe der Drehung ist in *B* zur Ebene *ABC* senkrecht. Nahe bei *A* ist das Fernrohr *F* angebracht, durch

welches man nach der Mitte des Spiegels D und zugleich noch über diesen Spiegel hinweg sieht. In jener Richtung sei nun gerade der Stern S_1 , so sieht man ihn im Fernrohre über dem Spiegel D . Ein anderer Stern S_2 sendet einen Lichtstrahl nach B . Das Einfallslot ist b , α der Einfallswinkel, also auch der Ausfallswinkel. Mit Hülfe des Hebels BH ist

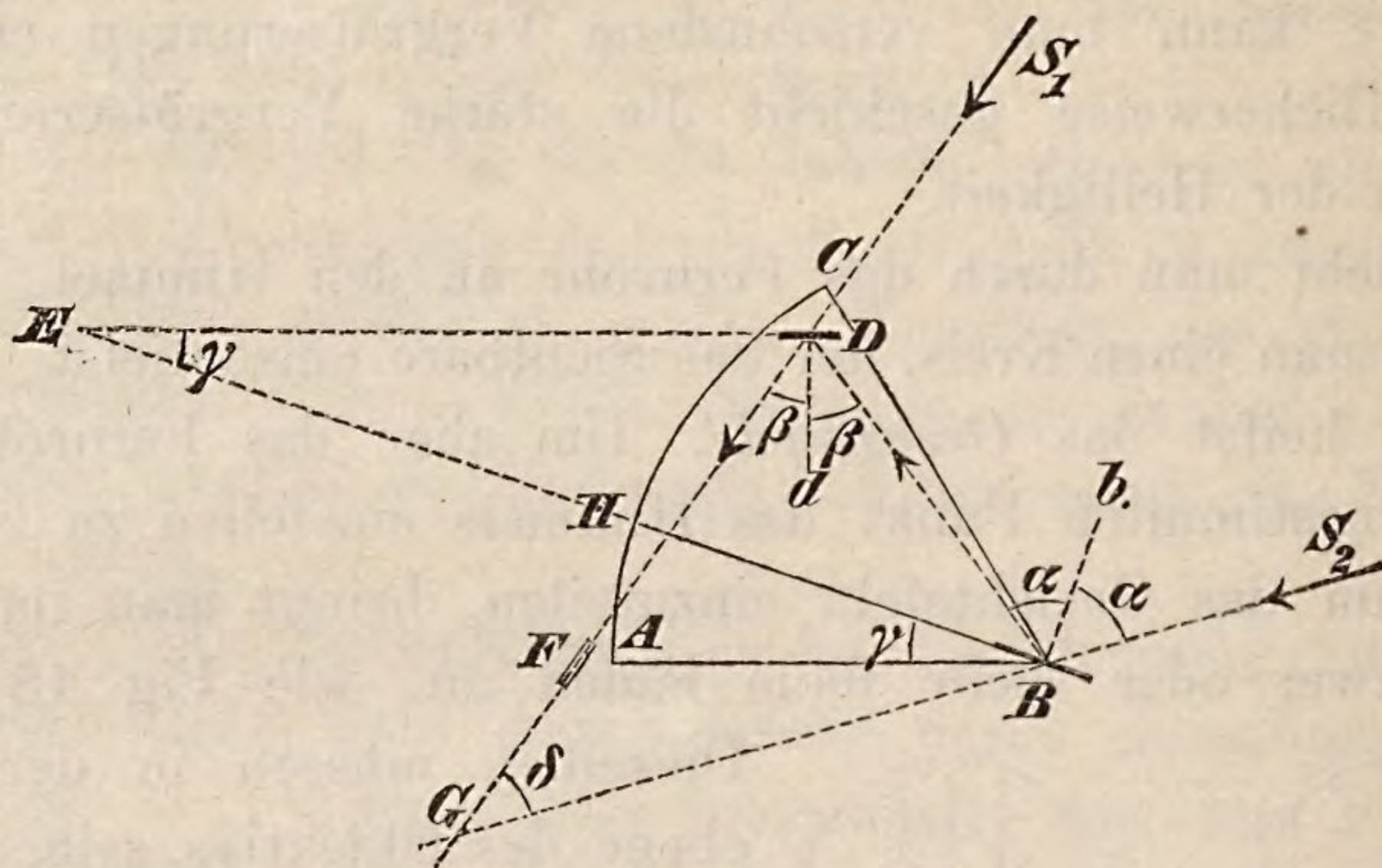


Fig. 19.

nun dieser Spiegel B gerade so gedreht worden, daß der ausfallende Strahl nach D geht und dort nach dem Fernrohre F reflektirt wird. Nun sieht man im Fernrohre die Bilder beider Sterne über einander und kann am Instrumente aus folgendem Grunde die Sterndistanz unmittelbar ablesen.

In der Figur ist $\gamma = \sphericalangle BED = \sphericalangle HBA$ der Winkel der Ebenen beider Spiegel. — Das Dreieck EDB liefert die Winkelsumme

$$\begin{aligned} \gamma + 90 + \beta + 90 - \alpha &= 180 \dots \\ \alpha &= \beta + \gamma, \text{ also auch } 2\alpha = 2\beta + 2\gamma. \end{aligned} \quad (1)$$

Ebenso findet sich aus dem Dreieck GBD für den Außenwinkel DBS_2

$$2\alpha = 2\beta + \delta. \quad (2)$$

Durch Vergleichung der Formeln 1) und 2) hat man

$$2\beta + \delta = 2\beta + 2\gamma \dots \delta = 2\gamma.$$

Somit ist die Sterndistanz doppelt so groß wie der Winkel der beiden Spiegel. — Dieser letztere Winkel ist bei H abzulesen. Man teilt nämlich den Bogen AC , der gewöhnlich $\frac{1}{6}$ des Kreisumfanges ist, in Grade etc. ein, die Scala bei A

beginnend. Um sich die nachherige Verdoppelung des abgelesenen Wertes zu ersparen, schreibt man bei den Teilstrichen der Scala gleich die doppelten Werte an. Bei C hätte man 120° , d. h. man kann mit diesem Instrument Winkel bis 120° messen.

§ 20. Das *Meridianinstrument* ist ein Fernrohr mit Fadenkreuz mit folgender Aufstellung. Mit dem Fernrohr AB (Fig. 20) in fester Verbindung ist die Axe DE , die bei

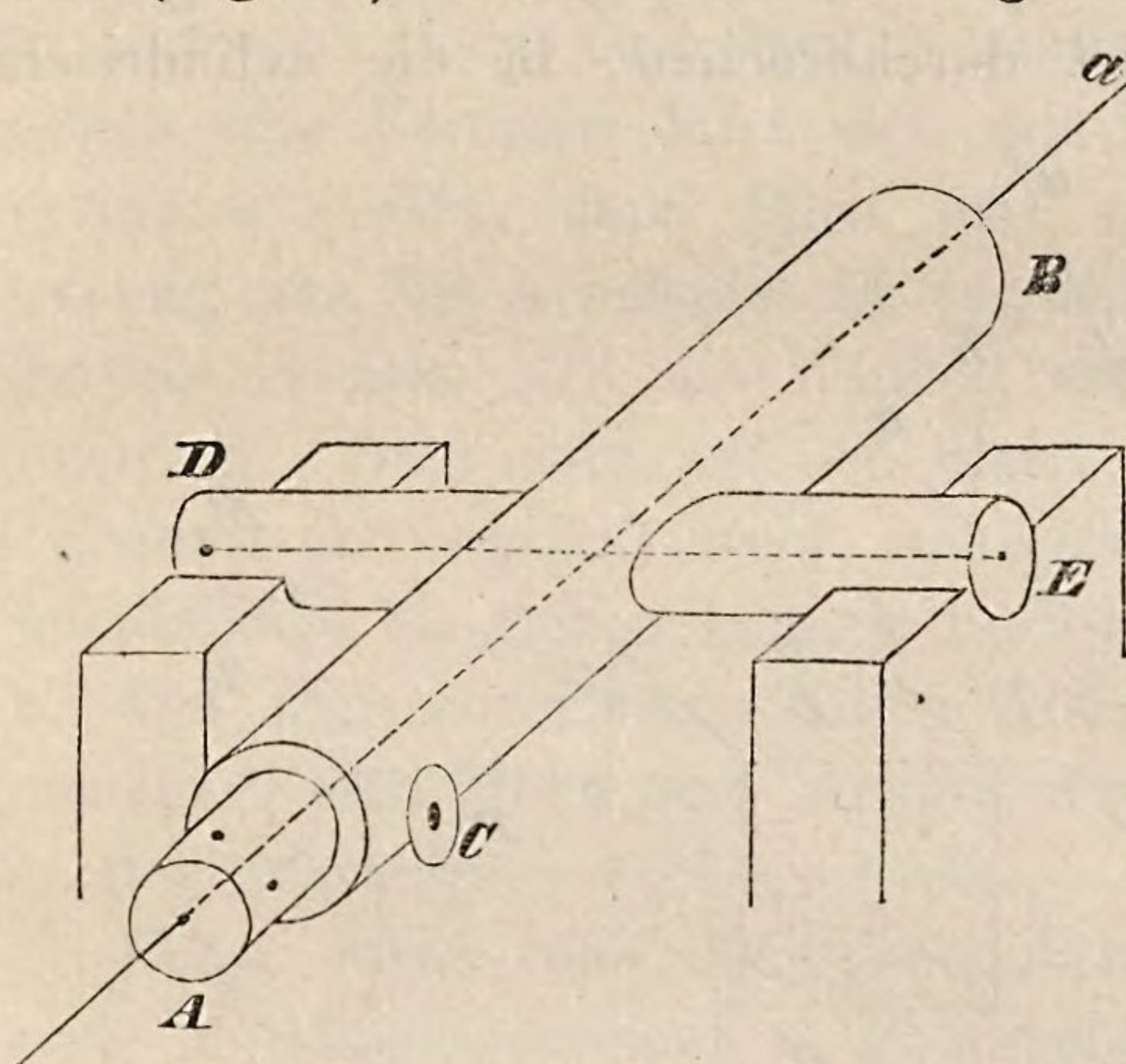


Fig. 20.

D und E auf zwei festen Lagern ruht. Die Axe DE ist genau senkrecht zur Fernrohrachse a , zudem aber horizontal und speciell von Ost nach West gerichtet. Das Fernrohr ist um die Axe DE drehbar, somit beschreibt die Fernrohrachse genau den Meridian. — Im

Fadenkreuz sind

nebst dem horizontalen Mittelfaden gewöhnlich 3 vertikale Fäden in gleichen Abständen (Fig. 18).

In Fig. 20 ist das Instrument horizontal gestellt. Den Betrag einer mit dem Fernrohr ausgeführten Drehung kann man am *Teilkreis* ablesen. Derselbe fehlt in der Figur. Seine Lage ist wie die der Kreisscheibe bei E . — Durch dieses Instrument kann man die Sterne nur unmittelbar vor bis wenig nach der Kulmination sehen. Der Durchgang des Sterns durch den vertikalen Mittelfaden ist die Kulmination selbst. Um alle Kulminationen sehen zu können, sind die Lager unter D und E so hoch, daß man das Fernrohr um 360° drehen (und „durchschlagen“) kann.

§ 21. Der *Theodolith* besteht im Wesentlichen aus folgenden Teilen (Fig. 21). Der Hohlcylinder H umschließt einen Vollcylinder. Die Oberfläche dieses letzteren ist der Teilkreis T_2 . Der Vollcylinder ist in H drehbar; mit Hülfe

des eingetheilten Kreises T_2 und der Marke M_2 kann man jeweilen die Gröfse der ausgeführten Drehung ablesen. — Der Vollcylinder setzt sich in der massiven Axe AB fort, an welcher der Würfel K befestigt ist. AB ist zur unteren Würfelfläche genau senkrecht, ebenso zur Ebene von T_2 . — Auf die obere Würfelfläche stellt man die Dosenlibelle auf und dreht die unter H befindlichen Schrauben bis die Blase einspielt. Alsdann ist T_2 horizontal, AB vertikal gestellt. Der Würfel K ist durchbrochen, in die cylindrische

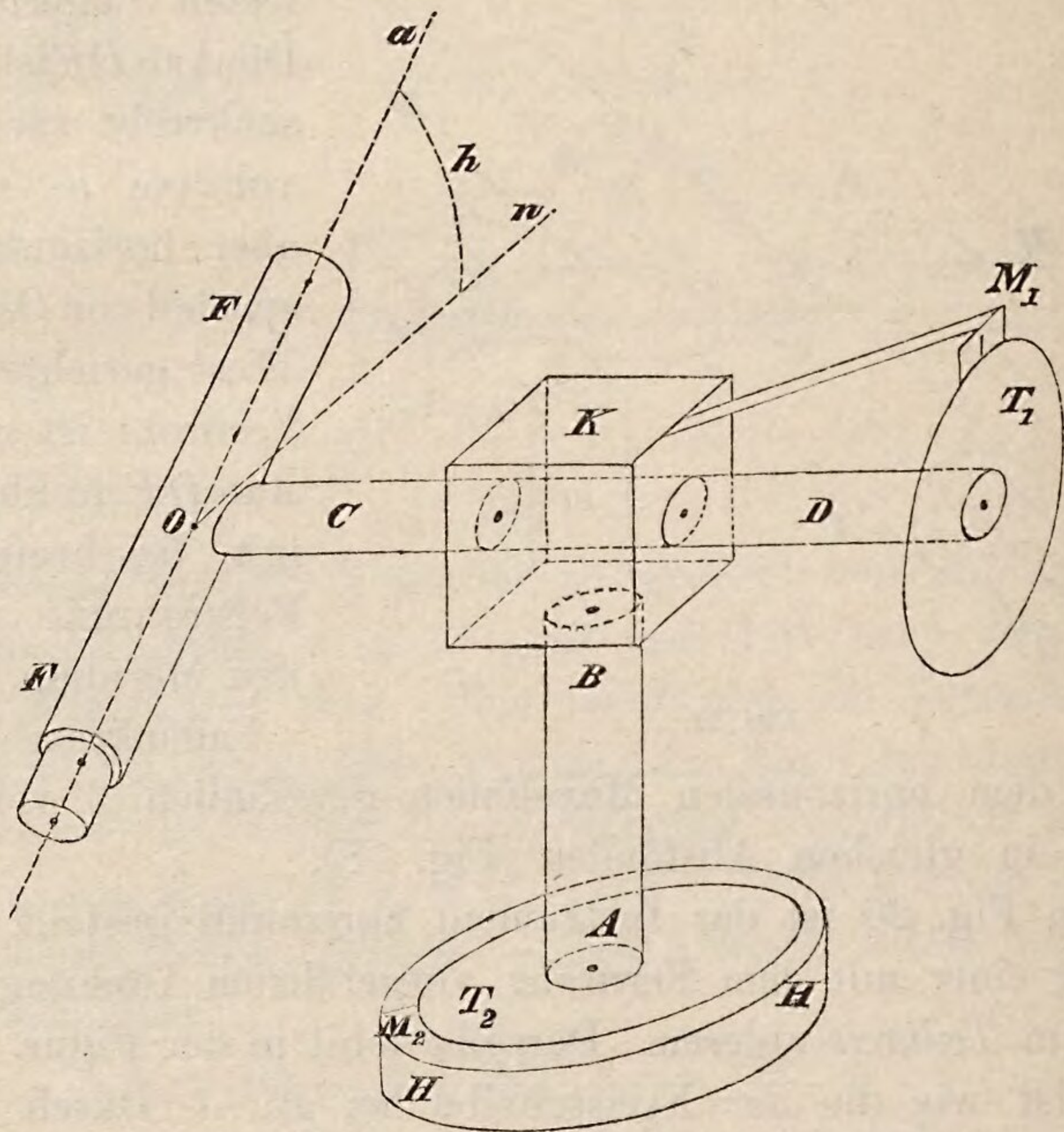


Fig. 21.

Öffnung ist die Axe CD gebracht worden. CD ist in fester Verbindung mit dem Fernrohr F , auf der andern Seite mit dem Teilkreis T_1 . Fernrohraxe a und Ebene T_1 sind beide senkrecht zu CD , deshalb zunächst die Ebene T_1 vertikal. T_1 ist der Vertikalkreis, T_2 aber der Azimutalkreis des Theodolithen.

Dreht man bei dem so aufgestellten Instrument das Fernrohr allein, so drehen CD und der Kreis T_1 mit. Die Mitte des Gesichtsfeldes beschreibt am Himmel einen Ver-

tikal. Die ausgeführte Drehung kann man je bei M_1 ablesen. Dreht man dagegen CD mit dem unter T_2 befindlichen Cylinder, so ändert sich hierbei die Höhe h nicht. Die Fernrohraxe ist hierbei stets nach Punkten des Himmels gerichtet, die gleiche Höhe über dem Horizont haben. Die Ablesungen für die Azimute dieser Punkte werden am Azimutalkreis T_2 gemacht.

Um Azimut und Höhe selbst zu finden, denkt man sich das Fernrohr zuerst nach dem Südpunkte des Horizontes eingestellt (das Fernrohr läßt sich mit Hülfe der Axenlibelle horizontal stellen, dann führt man noch eine horizontale Drehung aus, bis a parallel ist zur Mittagslinie, siehe § 24). Nun merkt man sich die Winkel, auf welche M_1 und M_2 hinweisen. Jetzt wird auf den Stern eingestellt, indem man horizontal und vertikal dreht, bis derselbe in die Mitte des Fadenkreuzes zu stehen kommt, liest bei M_1 und M_2 wieder ab. Die Differenzen aus diesen Ablesungen und den erst gemachten sind Höhe und Azimut des Sterns für die Zeit der Beobachtung.

Frage. Kann man den Theodolithen so aufstellen, daß er als Meridianinstrument zu gebrauchen ist.

§ 22. Wenn ein Fernrohr fest aufgestellt ist, so macht es die tägliche Bewegung der Erde mit. Deshalb beschreibt das Gesichtsfeld am Himmel eine Zone resp. alle Sterne dieser Zone scheinen von Ost nach West durch das Fernrohr zu gehen. Will man einen Stern einige Zeit hindurch beobachten, so muß sich das Fernrohr so zu sagen mit dem Stern drehen, dann bleibt letzterer fortwährend im Gesichtsfeld. Ein so aufgestelltes Fernrohr nennt man *parallaktisch montiert* oder ein *Äquatoreal*.

In Fig. 22 ist L das Lager der Montierung. Bei AB ist es durchbrochen, um den Metallcylinder AB aufzunehmen, der die Richtung w der Weltaxe hat. Am vorderen Ende ist der Teilkreis T_2 mit CD in fester Verbindung. Seine Ebene ist senkrecht zu w , also parallel zum Äquator. — Bei B aber endigt AB mit dem Würfel K und ist mit demselben in fester Verbindung. Die vordere Würfelfläche ist senkrecht zu w resp. zu AB . Der Würfel ist durchbrochen, um die

Axe CD aufzunehmen, die drehbar ist und genau senkrecht steht zu w . Links in fester Verbindung mit CD ist das Fernrohr F . Seine Axe a ist genau senkrecht zu der Axe CD . Rechts ist an CD der Teilkreis T_1 mit der Ablesungsmarke M_1 befestigt.

Läßt man die Axe AB in Ruhe, dreht aber das Fernrohr, so drehen CD und T_1 mit. Ist die Axe des Fernrohrs in die Lage w_1 übergegangen, wobei $w_1 \parallel w$, so ist das Fern-

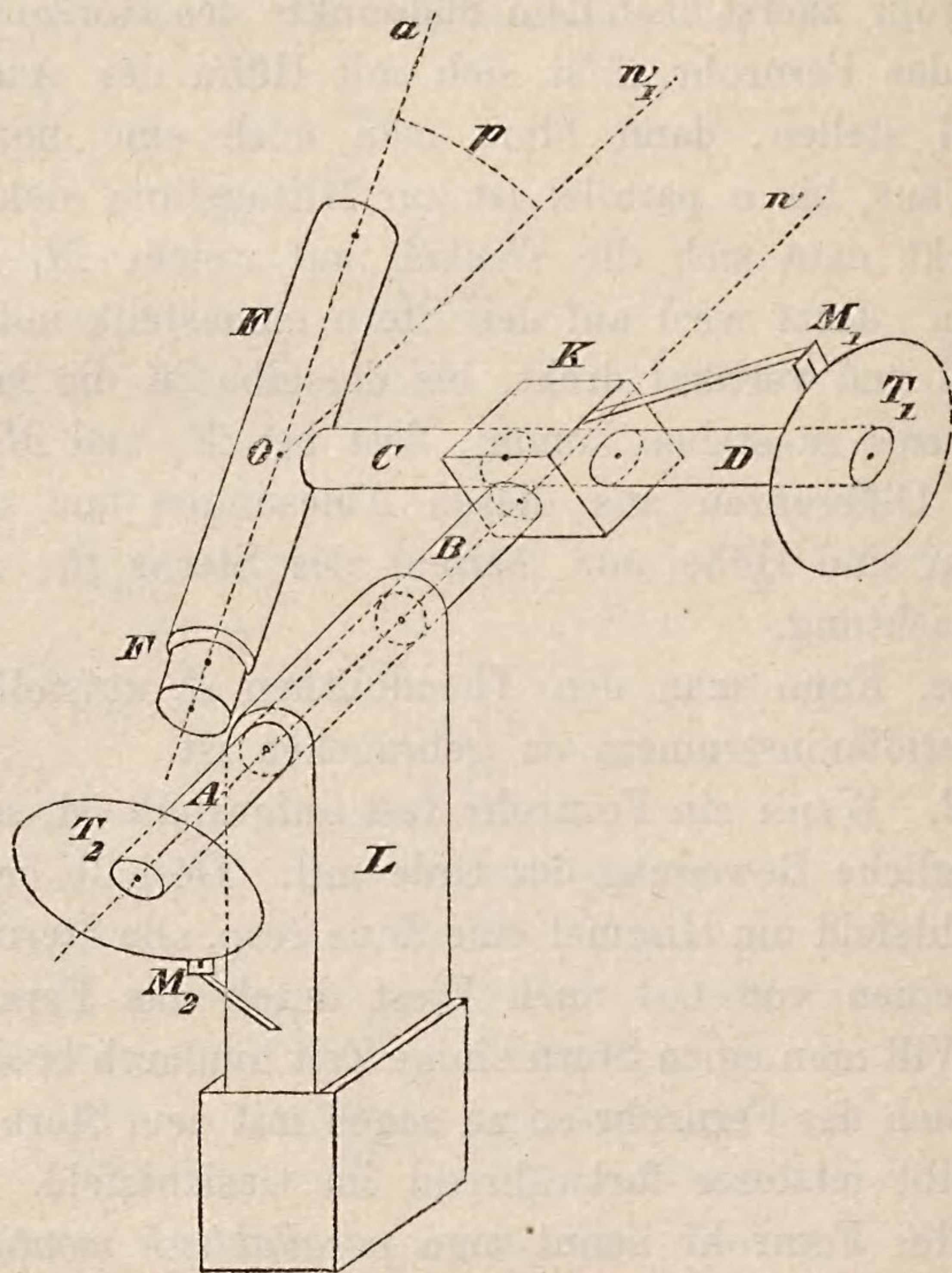


Fig. 22.

rohr auf den Pol eingestellt. Dreht man um den Winkel p zurück, welchen Winkel man als Differenz zweier Ablesungen bei M_1 findet, so ist das Fernrohr auf einen Stern eingestellt von der Poldistanz p , also von der Deklination $d = 90^\circ - p$.

Dreht man nun bloß die Axe AB im Lager L , so dreht Alles, das Lager ausgenommen. Bei M_2 findet man das Maß der Drehung. Das Fernrohr F ist hierbei fortwährend nach Punkten des Himmels gerichtet, welche dieselbe Pol-

distanz haben, welche also auf einem Parallel liegen. (Die Drehung des Fernrohrs allein bewirkt, daß die Mitte des Gesichtsfeldes einen Deklinationskreis beschreibt.)

Mit dem Lager in Verbindung, in Fig. 22 nicht zur Anschauung gebracht, ist ein Uhrwerk, welches die Axe AB in genau 24^h Sternzeit um 360° dreht und zwar im Sinne von Ost nach West. Ist dann F einmal auf einen Stern eingestellt und das Uhrwerk in Gang gesetzt, so bleibt der Stern an derselben Stelle im Gesichtsfelde. So kann man Sterne auch bei Tage beobachten, wenn sie nicht allzunahe bei der Sonne sind oder gar untergehen.

Beim Kreise T_1 erhält man Poldistanzen resp. Deklinationen. Die zugehörige Marke M_1 ist mit dem Würfel in fester Verbindung. Bei T_2 findet man Stundenwinkel resp. Rectascensionen. Die Marke M_2 ist am Lager L befestigt, also absolut fest. Das Fernrohr ist bei Fig. 22 auf einen Punkt im Meridian eingestellt (von der Poldistanz p).

Es verdient an dieser Stelle noch hervorgehoben zu werden, daß Theodolith und Äquatoreal sich im Grunde genommen nur ganz unwesentlich von einander unterscheiden. Bringt man AB , Fig. 21, in die Lage von AB , Fig. 22, d. h. parallel zur Weltaxe, so hätte man ohne weiteres ein Äquatoreal.

Es wurde bei beiden Instrumenten hervorgehoben, daß man das Fernrohr drehen kann ohne AB mitzubewegen. Dazu ist noch nötig, daß in Fig. 21 und 22 bei H resp. in L über AB „Klemmschrauben“ angebracht sind. Dasselbe gilt für die Würfel K und die Axen CD beider Figuren.

Von dem Äquatoreal mag noch bemerkt werden, daß es hauptsächlich in der *beschreibenden Astronomie* dient. Um gute Bilder zu erhalten wählt man stets große Fernröhre (§ 18). Dann erhält man zunächst Aufschluß über das Aussehen des Objektes. Um dasselbe genau messen zu können, bringt man im Okulare sog. *Mikrometer* an. Weiterhin dient nun ein so aufgestelltes Fernrohr zu der in neuerer Zeit zur Blüte gelangten *Sternphotographie* sowie zur *Spektralanalyse* der Gestirne. Mit einem Wort, es ist dieses Instrument das wesentliche Hilfsmittel in der *Astrophysik*.

§ 23. Die *Uhren* sind ein wesentliches Hilfsmittel der Astronomie. — Auf Sterwarten kann man Uhren mit *Kompensationspendeln* anwenden, strenge genommen solche mit Kompensationsvorrichtungen gegen den Einfluß der Wärme und des Luftdruckes. Auf Reisen zu Wasser und zu Lande gebraucht man auch *Chronometer*, d. h. Uhren mit Kompensationsvorrichtungen, die dagegen keine Pendel haben.

Eine solche Uhr kann man *nach den Sternen regulieren*. Dann giebt sie in den Momenten der aufeinanderfolgenden Kulmination desselben Sterns immer dieselbe Zeit an bis auf eine geringe Abweichung, die aber nahe konstant sein soll. Eine Uhr, die von Tag zu Tag bis auf einen Bruchteil einer Sekunde dieselbe kleine Anzahl von Sekunden stets vor- oder nachgeht, ist als eine gute zu bezeichnen (Uhr mit regelmäßigem Gang).

§ 24. Die *Miren* sind entfernte, vom Beobachtungsorte aus deutlich sichtbare Punkte, die sich immer an derselben Stelle der Erde befinden. Man habe den Theodolithen bei

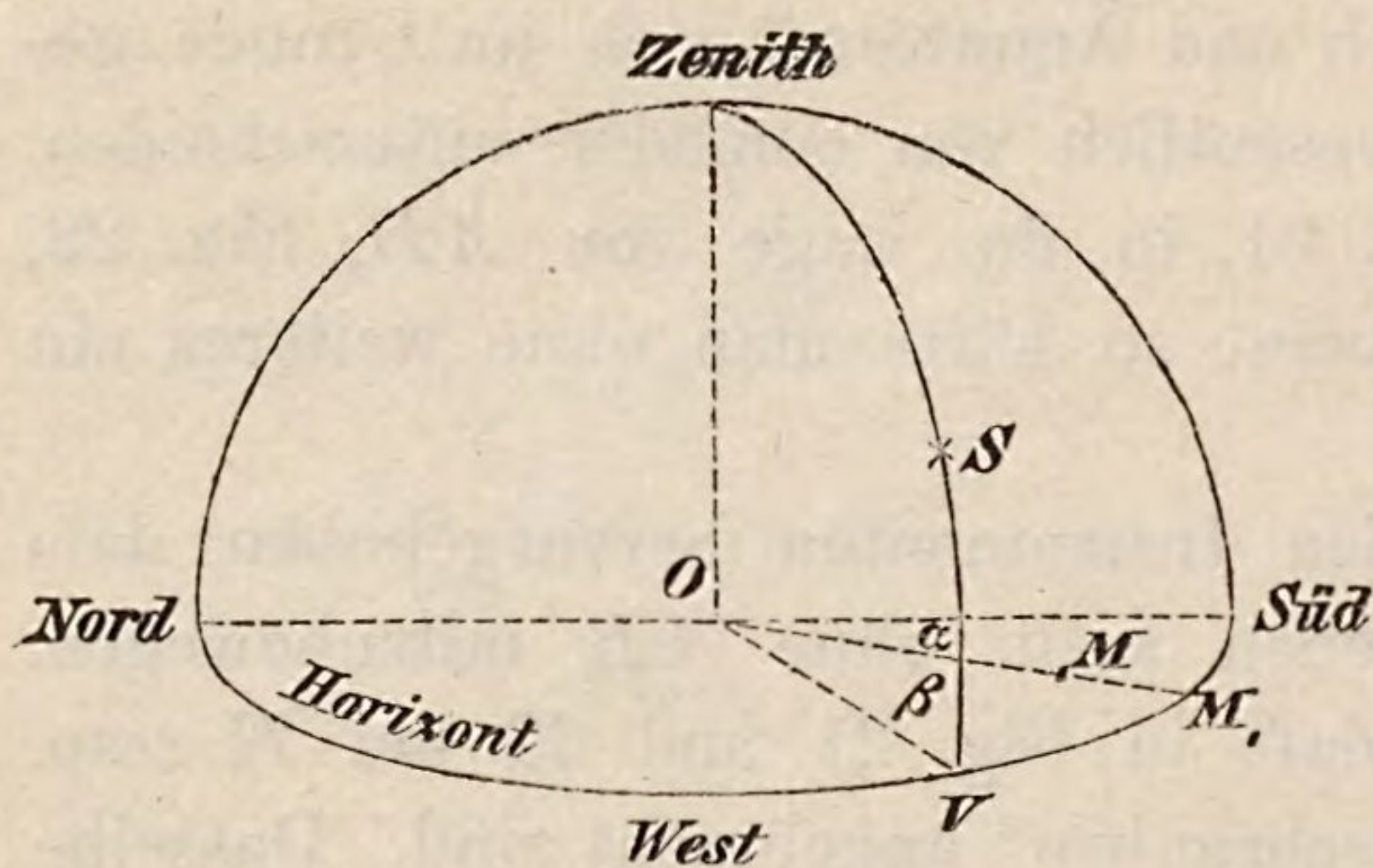


Fig. 23.

O aufgestellt, die Mire sei in *M*, ihr Azimut gleich α . Der Vertikal des Sterns *S* trifft den Horizont in *V* und man habe gefunden

$$\angle MOV = \beta,$$

so ist das Azimut des Sterns gleich $\alpha + \beta$.

Für eine Mire muß

man also stets das Azimut kennen. Ihre Höhe kommt nicht in Betracht, die Mire kann auch über oder unter dem Horizonte des Beobachters sein. — Eine Mire im Meridian aufgestellt heißt *Meridianzeichen*.

Beobachtet man bei Tage, so verwendet man Kirchturmspitzen etc. als sog. *Tagmiren*; zur Nachtzeit verwendet man *Nachtmiren* (Licht in einem seitwärts durchbrochenen Blechgefäß).

§ 25. Der *Quecksilberhorizont*. Ein großer Stein wird in die Erde gemauert, damit er durch den hinzutretenden

Beobachter gar nicht erschüttert werde. Auf seine nahezu horizontale ebene Deckfläche stellt man ein breites, wenig tiefes Gefäß, das bis nahe an den oberen Rand mit Quecksilber gefüllt ist. Dessen Oberfläche reflektiert gut und ist genau horizontal.

IV.

Das Dreieck Pol-Zenith-Stern.

§ 26. Um aus den mit den eben beschriebenen Instrumenten gemachten Beobachtungen Resultate herzuleiten, ist es nötig, einige Formeln aufzustellen. Man erhält dieselben durch Anwendung der sphärischen Trigonometrie auf das durch die Punkte Pol, Zenith, Stern am Himmel gebildete Dreieck. Letzteres ist ohne Zweifel von veränderlicher Form, weil der Stern jeden Sterntag seinen Parallel durchläuft. Nur die Seite Zenith-Pol bleibt dieselbe. Bei der Kulmination geht jedesmal das Dreieck in einen Bogen des Meridians über. — Es sollen hier *allgemeingültige Formeln* hergeleitet werden, hinterher werden die besonderen Fälle behandelt.

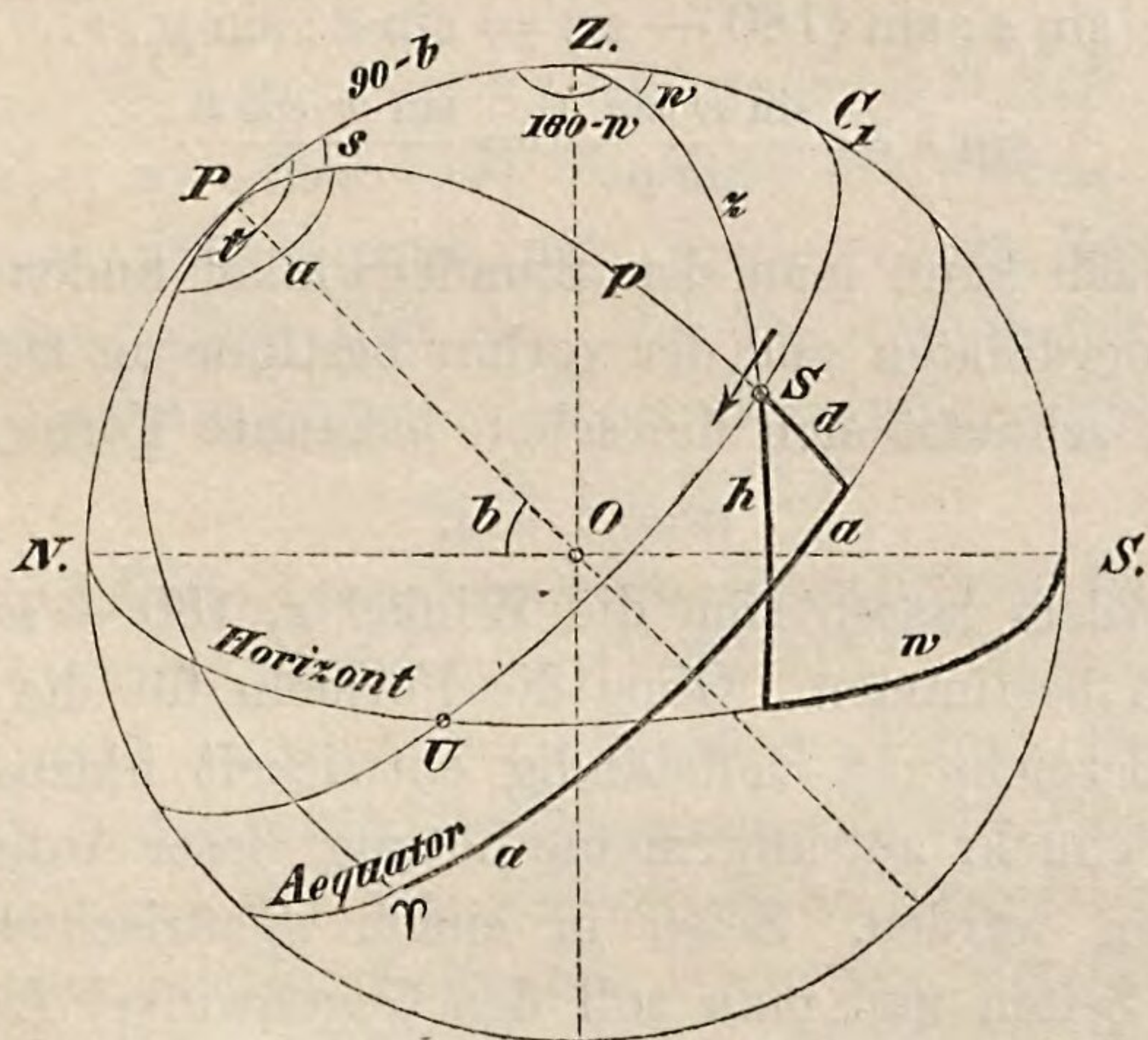


Fig. 24.

In Fig. 24 ist der Beobachter bei O , der Stern bei S an der Himmelskugel. Die Horizontkoordinaten sind w und h , die Äquatorkoordinaten a, d . Die Polhöhe resp. geogr.

Breite ist b , somit $90^\circ - b$ die Zenithdistanz des Pols oder die Poldistanz des Zeniths. Man erkennt dafs in dem Dreieck PZS die 5 Stücke vorkommen $s, p, z, 180 - w, 90 - b$, deren Bedeutung von früher her bekannt ist.

Die Anwendung der Cosinus-Formel für p giebt

$$\cos p = \cos z \cos (90 - b) + \sin z \sin (90 - b) \cos (180 - w)$$

oder

$$1) \quad \cos p = \cos z \sin b - \sin z \cos b \cos w.$$

Da $p = 90 - d, z = 90 - h$, so hat man hierfür noch

$$1^a) \quad \sin d = \sin h \sin b - \cos h \cos b \cos w.$$

In dieser Form geschrieben giebt die Formel sofort die Berechnung der Deklination aus den Horizontkoordinaten und der geogr. Breite des Beobachters. (Setzt man $\cotg h \cos w$

$$= \tg x, \text{ so ist } \sin d = \frac{\sin h \sin (b - x)}{\cos x}.$$

Wendet man die Cosinus-Formel auf z an, so kommt

$$2) \quad \cos z = \cos p \sin b + \sin p \cos b \cos s.$$

Die Sinus-Formel ergiebt:

$$\sin s : \sin (180 - w) = \sin z : \sin p \dots$$

$$3) \quad \sin s = \frac{\sin w \sin z}{\sin p} = \frac{\sin w \cos h}{\cos d}.$$

Hiernach kann man den Stundenwinkel finden aus den Horizontkoordinaten und der vorhin bestimmten Deklination. — Hieran schliesst sich die schon bekannte Formel

$$4) \quad a = t - s.$$

Außerdem lassen sich die Winkel $s, 180 - w$ aus den drei Seiten bestimmen. Ohne die Formeln für die hier eingeführte Bezeichnung vollständig entwickelt hinschreiben, soll hier vielmehr auf allgemeine Lösung dieser Aufgabe blofs hingewiesen werden. Seien in einem sphärischen Dreieck e, f, g die Seiten und man soll den Gegenwinkel E zu e berechnen, so dient dazu die Formel

$$5) \quad \tg \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{\sin (u - f) \sin (u - g)}{\sin u \sin (u - e)}}, \quad u = \frac{e + f + g}{2}.$$

§ 27. Der Stern S geht im Punkte U unter, man soll

das zugehörige Azimut finden sowie die Gröfse des Bogens vom Aufgangspunkte bis U .

Sobald der Stern in U anlangt, ist im Dreieck PZS $z = 90^\circ$, $h = 0$. Setzt man dies in die Formel 1) § 26 ein, so findet sich $\cos p = -\cos b \cos w$, somit ist

$$6) \quad \cos w = -\frac{\cos p}{\cos b} = -\frac{\sin d}{\sin b}.$$

Das sich hieraus ergebende Azimut gilt für Auf- und Untergang und wird vom Südpunkte aus gezählt. Nun sind aber Aufgangs- und Untergangspunkt gleichweit entfernt von Ost- und Westpunkt. Diese Entfernungen heißen (nördliche und südliche) *Morgen-* und *Abendweite*. Um sie zu erhalten, subtrahiere man obengefundenes w von 90° oder 90° von w , je nachdem $w \lesseqgtr 90^\circ$. (Für $w < 90^\circ$ sind Morgen- und Abendweite südlich u. s. f.)

Der Winkel s , Fig. 24, ist ein Mafs für den vom Stern durchlaufenen Bogen nach der oberen Kulmination. Setzt man daher in Formel 2) § 26 für z wieder 90° ein, so hat man für den Bogen von C_1 bis U die Formel

$$0 = \cos p \sin b + \sin p \cos b \cos s,$$

somit

$$\cos s = -\cotg p \tg b = -\tg d \tg b.$$

Hierbei ist s der *halbe Tagbogen* des Sterns.

Fragen. Drückt man den Tagbogen in Zeit aus, was giebt alsdann diese Zeit an. Die Deklination der Sonne am längsten und am kürzesten Tage des Jahres beträgt

$$d = \pm 23^\circ 27' 35''.$$

Welches sind die entsprechenden Tageslängen für einen Ort von der geogr. Breite $b = 47^\circ 22' 31''$. Welches sind die Morgen- und Abendweiten für diese Tage. Welches sind Tagbogen und Azimut des Untergangspunktes für einen Stern im Äquator. — Bei dem für die Sonne gegebenen Beispiel soll von der zurückweichenden Bewegung der Sonne (§ 13) abgesehen werden. — Wie specialisiert sich das Dreieck PZS , wenn der Stern in Elongation begriffen ist.

Anwendung der Instrumente.

§ 28. Die *Bestimmung des Meridians* an einem Orte auf der Erde kann mit Hülfe des Theodolithen gemacht werden. Ein Stern habe $APCQU$ zu seiner Bahn (Fig. 25). Bei M sei eine Mire aufgestellt, der Beobachter sei bei O .

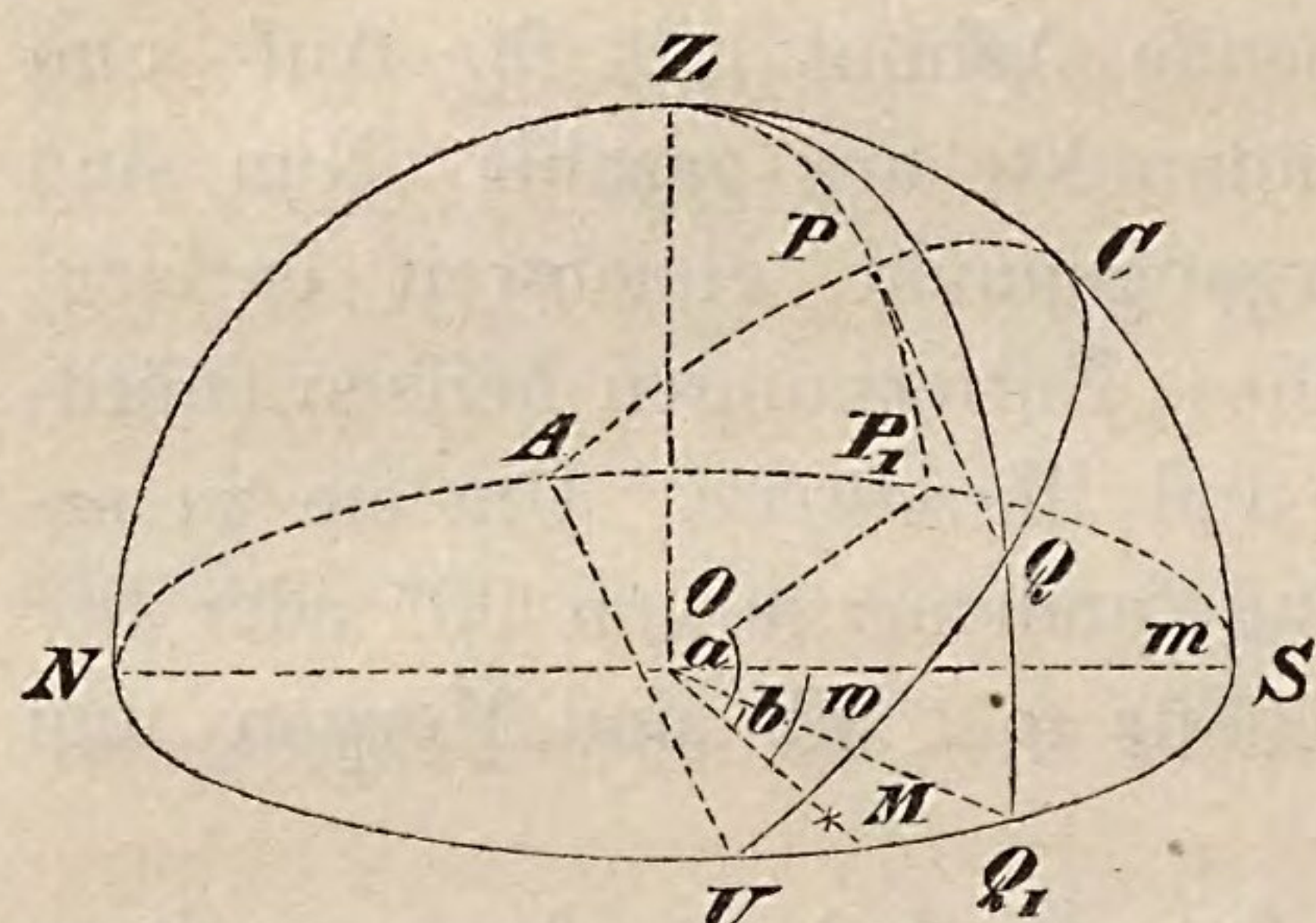


Fig. 25.

Richtet man das Fernrohr erst nach M , dann nach dem Stern der eben in P sein soll, so giebt der Azimutalkreis den Winkel a . Hierauf wartet man ab, bis der Stern nach Q gelangt, d. h. in denjenigen Punkt seiner Bahn, der mit P gleiche

Höhe hat. (Natürlich wird das Fernrohr nach Einstellung auf P nicht mehr in vertikalem Sinne gedreht, es sei denn, daß man vorher am Vertikalkreise abliest.) Das Fernrohr wird nun auf Q eingestellt, man liest am Horizontalkreise nochmals ab und findet b . Alsdann ist das Azimut der Mire

$$1) \quad w = \frac{1}{2} (a + b).$$

Damit sind aber die Mittagslinie resp. der Meridian bekannt. — Diese Methode heisst *Beobachtung in korrespondierenden Höhen*.

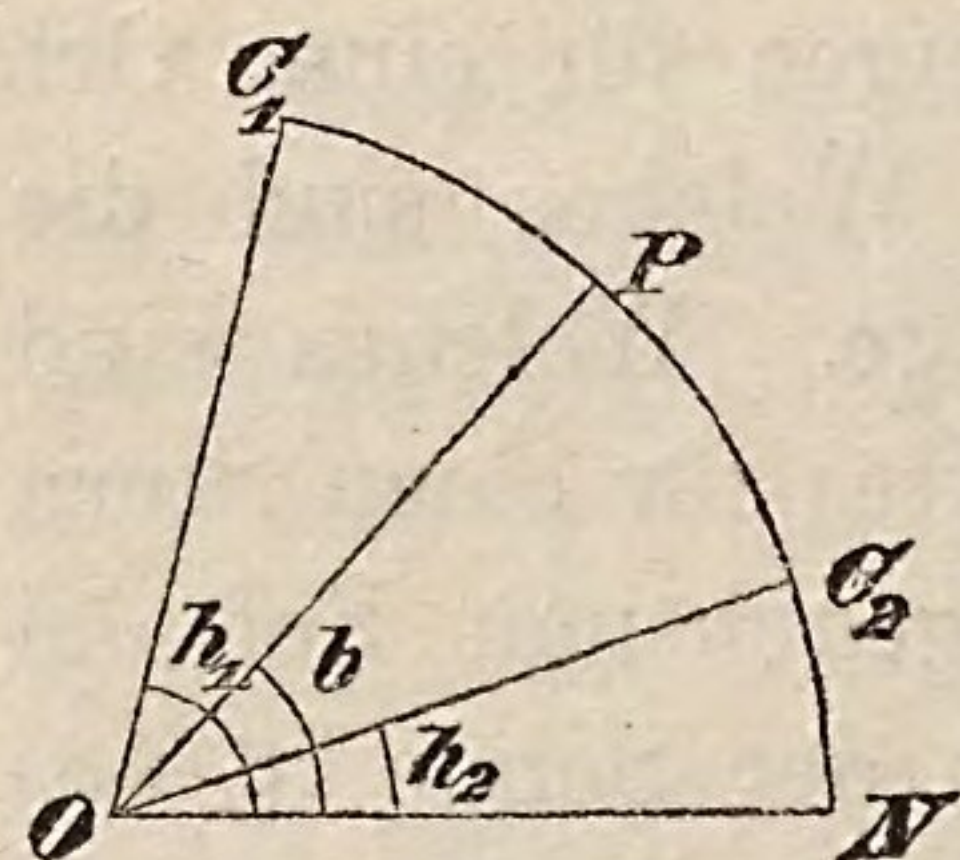


Fig. 26.

Frage. In welcher Gegend wird man den zu beobachtenden Stern wählen.

§ 29. Die *Polhöhe* ist leicht genug zu finden, nachdem der Meridian einmal bekannt ist. Beobachtet man nämlich die Höhen h_1, h_2 , in welchen ein Cirkumpolarstern kulminirt, so ist nach

Fig. 26 deren arithmetisches Mittel die Polhöhe (überall vom Nordpunkte aus gemessen):

$$2) \quad b = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Zur Bestimmung der Polhöhe giebt es noch eine bequemere Methode, wobei eine einmalige Beobachtung genügt.

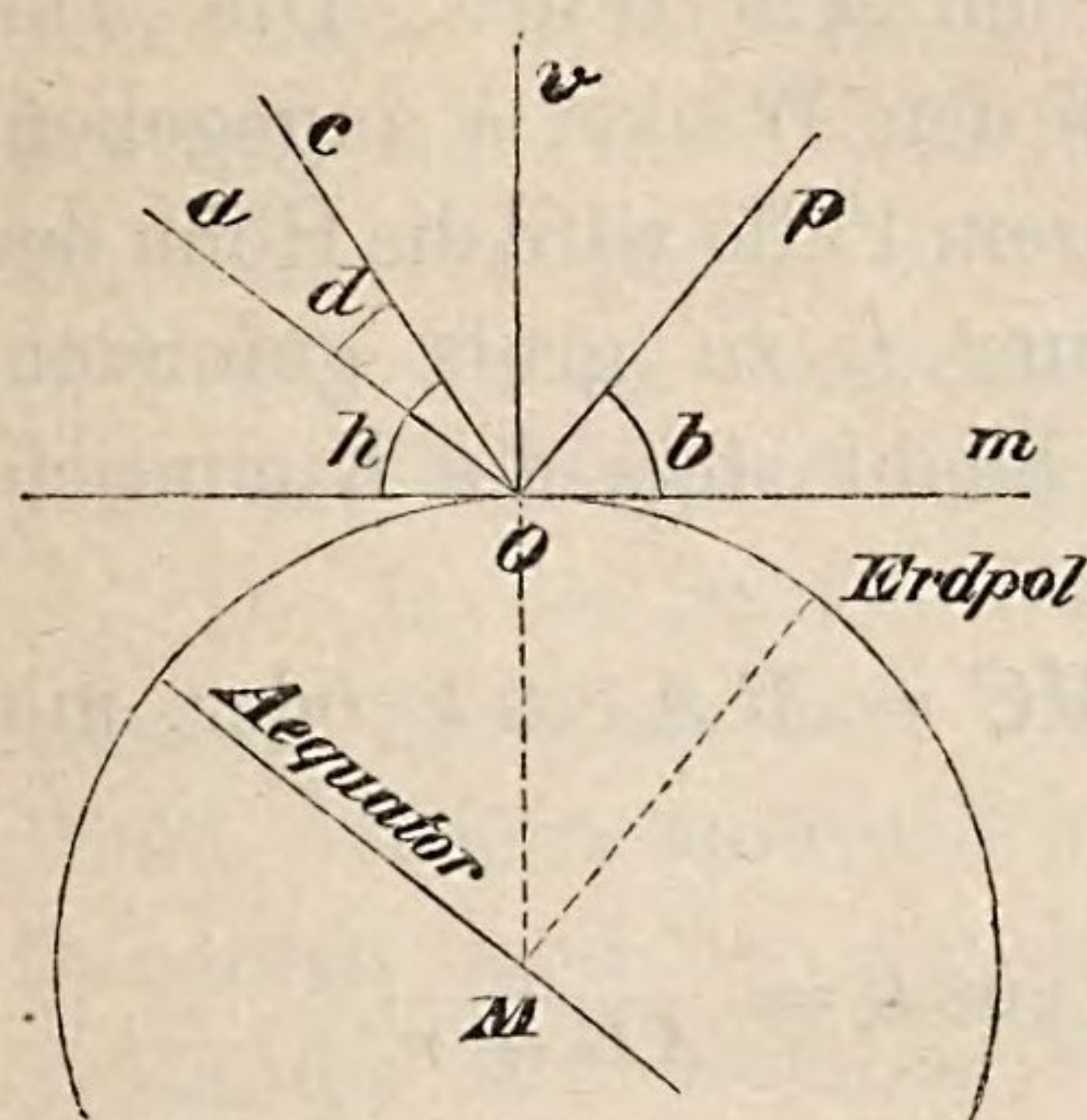


Fig. 27.

— In Fig. 27 ist der Beobachter bei O auf der Erde, m die Mittagslinie, p die Linie nach dem Pol, v die Vertikale, a der Schnitt der Meridianebene mit der durch O gelegten Äquatorebene des Himmels. Ein Stern kulminiert in der Richtung c . Da die Winkelsumme über m um O 180° beträgt, so ist

$$3) \quad b = 90 - h + d.$$

Der Stern soll die bekannte Deklination d haben, seine Kulminationshöhe ist h . — Die Deklinationen (und Rektascensionen) aller größeren Sterne finden sich in Tabellen, den Ephemeriden, angegeben. Für Sonne, Mond und Planeten schwankt die Deklination, doch sind auch sie zur Beobachtung

geeignet, wenn man nur ihre momentanen Deklinationen kennt.

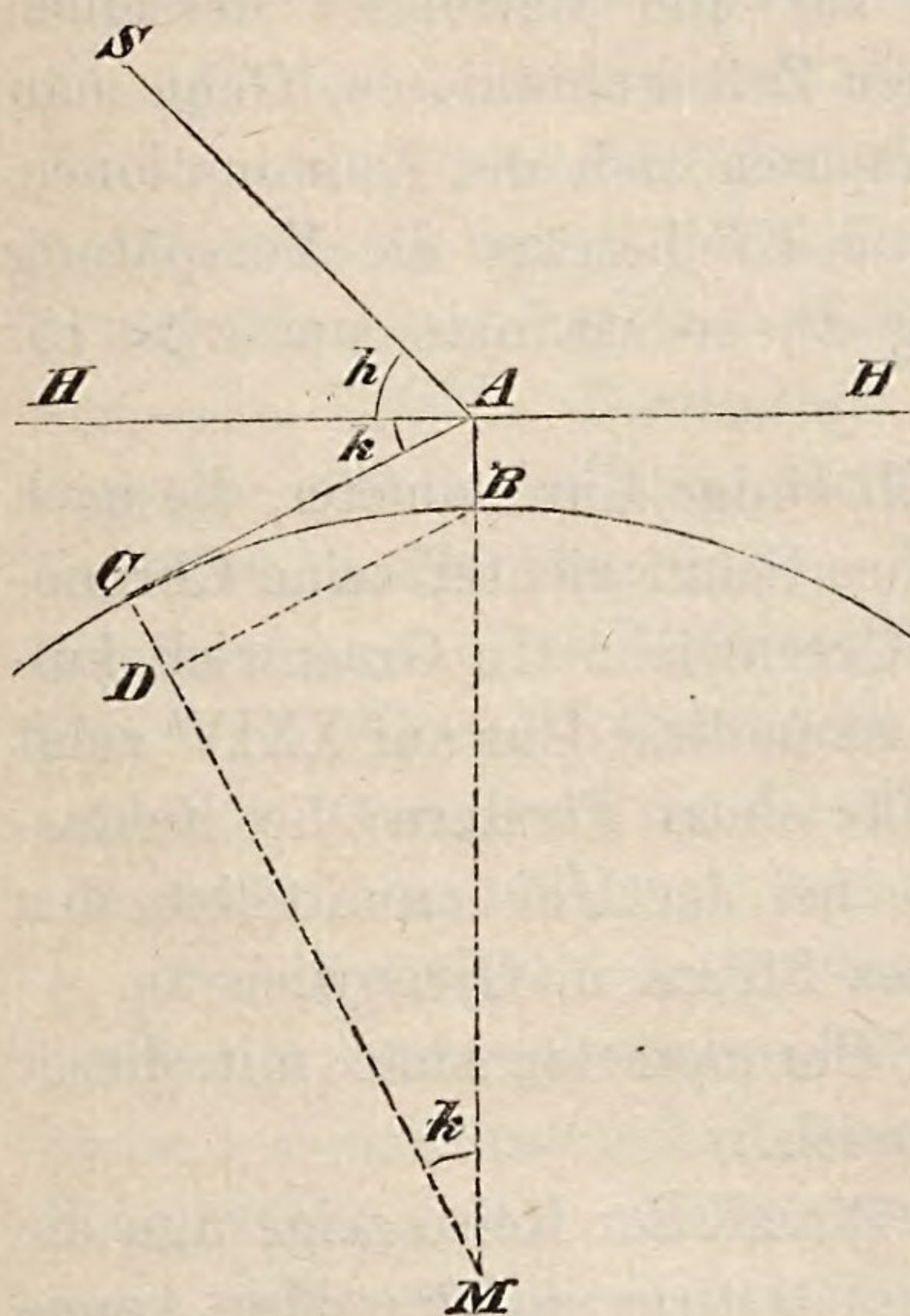


Fig. 28.

Beobachtet man die Sonne zur Zeit des wirklichen Mittags, so reicht zur Bestimmung der Sextant in Verbindung mit dem Quecksilberhorizont aus. Man richtet das Fernrohr nach dem Sonnenbild der Quecksilberoberfläche und bringt es mit dem doppelt reflektierten Sonnenbild zur Deckung. Die Ablesung ergibt alsdann die doppelte Sonnenhöhe.

Auf Schiffen kann man keinen künstlichen Horizont herstellen. Dagegen bildet die das Meer scheinbar begrenzende Linie einen natürlichen Horizont. — Der Beobachter bei A ist

um die bekannte Höhe AB über dem Meeresniveau. Sein Horizont liegt alsdann zu tief. An Stelle der Horizontebene tritt der Kegel, der entsteht, wenn AC um AM rotirt. Die „Depression“ des Horizonts wird durch den Winkel k angegeben, der die *Kimmtiefe* heisst. — In unserem Falle wird die Höhe der Sonne S über diesem Horizont um k zu groß gefunden, resp. von der beobachteten Höhe bleibt stets die Kimmtiefe zu subtrahieren.

Im Dreieck MCA ist aber $MC = MA \cos k$ oder, mit r den Erdradius bezeichnet,

$$r = (AB + r) \cos k, \quad \cos k = \frac{r}{AB + r}.$$

Der Betrag für die Erhebung von $AB = 1$ Meter ist $1'55'',6$, woraus man ersieht, daß der Einfluß der Kimmtiefe beträchtlich ist.

§ 30. Nachdem die Polhöhe oder also die geogr. Breite bestimmt ist, soll nun die *geographische Länge* des Ortes bestimmt werden.

Zunächst ist klar, daß für alle Bewohner desselben Meridians die Sterne zur selben Zeit kulminieren. Geht man dagegen nach Westen, so verspäten sich die Kulminationen. Für den Längenunterschied von 15° beträgt die Verspätung 1^h . Oder ist die Verspätung x^h , so ist man um $x \times 15^\circ$ westlich gereist.

Auf Schiffen hält man sich einige Chronometer, die nach Sternzeit gehen. Ein englisches Schiff richtet seine Chronometer nach der Sternzeit von Greenwich. In Greenwich kulminiert jedesmal der γ Punkt, wenn diese Uhr auf $XXIV^h$ zeigt (s. § 32). Verwandelt man für einen Fixstern die Rektascension in Zeit, so giebt diese bei der Uhr unmittelbar den Moment der Kulmination dieses Sterns in Greenwich an. — Während der Reise geht das Chronometer stets mit dieser astronomischen Uhr in Greenwich.

An irgendwelchem Orte während der Reise zeige nun die Uhr bei der Kulmination eines Gestirns auf t^h . Man kenne die Rektascension des Gestirns, so weiß man, daß dasselbe in Greenwich kulminiert, wenn die Uhr auf g^h zeigt (wobei g die in Zeit ausgedrückte Rektascension ist). Sei nun etwa

$t > g$, so kulminiert der bekannte Stern auf dem noch unbekannten Meridian der Erde um $(t - g)^h$ später als in Greenwich. Somit ist man auf dem Meridian $(t - g) \times 15^\circ$ westlich von Greenwich (s. § 15). — Viele Tabellen geben übrigens die geogr. Länge in Zeit ausgedrückt an. Die Differenz der so ausgedrückten Längen zweier Orte ist alsdann der Mittagsunterschied.

Die in der Schifffahrtskunde (Nautik) verwendeten Ephemeriden beziehen sich nicht nur auf Fixsterne, Sonne und Mond, sondern namentlich auch noch auf die sog. Jupiters-
trabanten (s. § 56). — Auf dem Festlande dient auch der Telegraph zur direkten Zeitübertragung. Die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes ist so groß (über 50 000 Meilen in der Sekunde), daß die Zeit der Abgabe des Signals bei der einen Station sozusagen identisch ist mit der Zeit der Ankunft bei der andern.

§ 31. Die *Bestimmung der Äquatorkoordinaten a, d* der Gestirne wird entweder ausgeführt mit Hülfe des Äquatoreals oder durch Beobachtung von Kulminationshöhe und Zeit vermittelt Meridianinstrument und Uhr. Letztere Methode ist die bessere und es sind deshalb die Teilkreise der Meridianinstrumente in der Regel äußerst exakt.

§ 32. Über die *Zeitbestimmung*. — Setzt man eine astronomische Uhr in Bewegung, so läßt sie sich im voraus ungefähr richtig stellen. Denn für jedes Datum kennt man den Anfang des Sterntages. Es handelt sich dann noch um die Bestimmung der *Uhrkorrektion*, die angiebt, wie viel die Uhr noch vor- resp. nachgeht. Besitzt die Uhr einen regelmäßigen Gang, so ist dieselbe Korrektion bei jeder Zeitablesung in Anschlag zu bringen.

Die eigentliche Zeitbestimmung führt man etwa in folgender Weise aus. Man stellt den Theodolithen auf einen Stern von bekannten Äquatorkoordinaten ein und liest gleichzeitig die Zeit ab, welche die Uhr angiebt. Der Theodolith giebt alsdann Höhe und Azimut dieses Sterns. Für das Dreieck PZS kennt man dann die drei Seiten $PZ = 90 - b$, $SZ = 90 - h = z$ und $PS = 90 - d = p$. Nach Formel 5, § 26, läßt sich s bestimmen, addiert man dazu a , so hat

man die wirkliche Sternzeit $t = a + s$. — Nun hat man für eine Zeit, welche die Uhr angab, diejenige gefunden, welche sie angeben sollte. Die Differenz beider Werte ist die Uhrkorrektur.

Frage. Wie geschieht die Zeitbestimmung, die eben behandelt wurde, wenn $s = 0$ ist.

§ 33. Die *Refraktion*. Die Erde ist mit Luft umgeben, wobei die untersten Schichten die dichtesten sind. Infolge der Lichtbrechung läßt sich daraus folgende Erscheinung herleiten.

Wenn der Stern S sein Licht an den Ort O auf der Erde sendet, so haben die Lichtstrahlen von S ausgehend

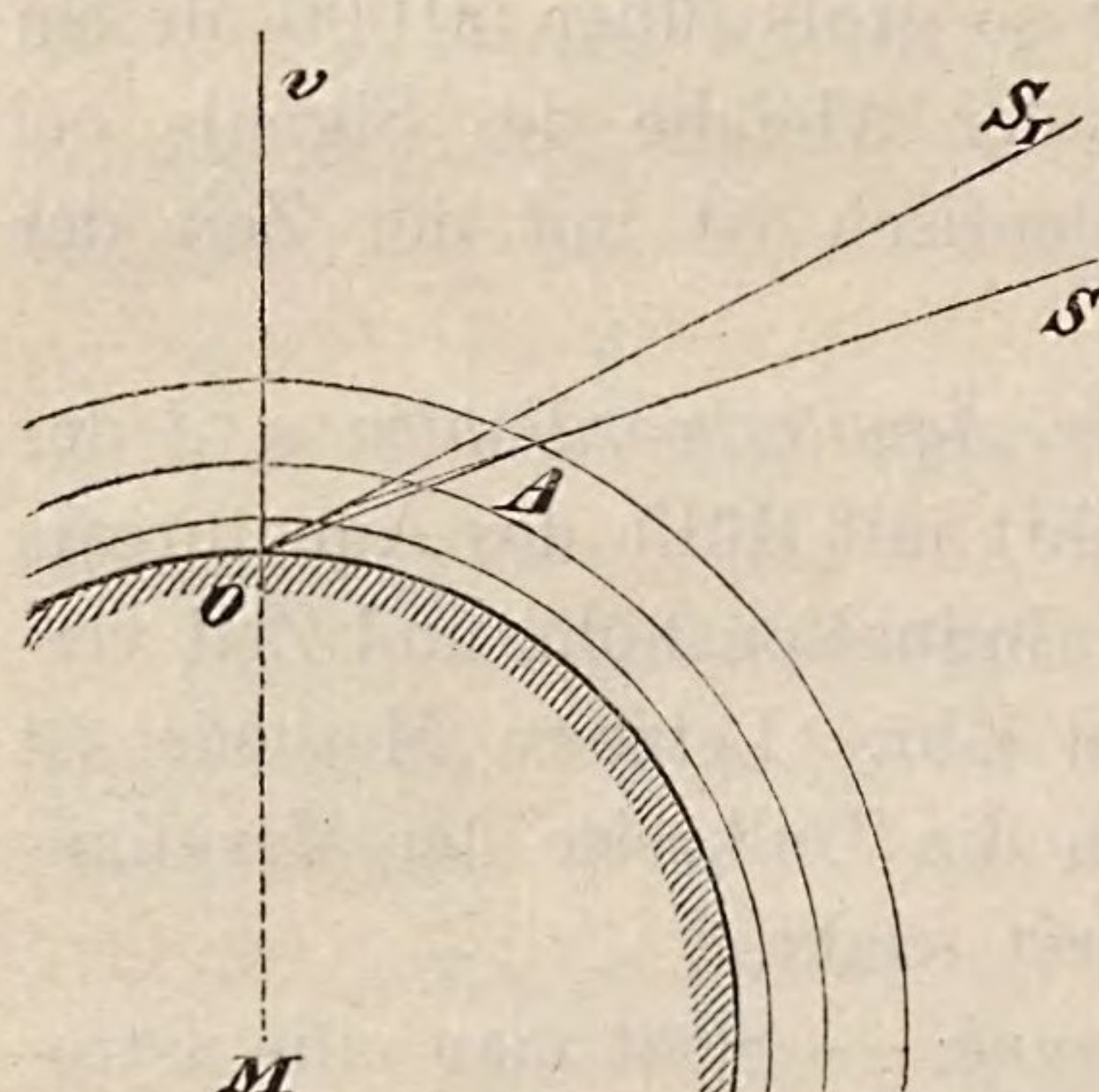


Fig. 29.

den Weltenraum zu durchlaufen, in welchem sich keine atmosphärische Luft befindet. Bei A treten sie in die Atmosphäre ein und dort beginnt die Refraktion oder Lichtbrechung, wie die Physik lehrt. Die Abweichung von der ursprünglichen Richtung wird durch das Eindringen in immer tiefere dichtere Schichten wachsen. Das Licht beschreibt in

der Atmosphäre einen geringen Bogen. Infolge dessen scheint der Stern S bei S_1 zu sein, man sieht ihn zu hoch. — Unsere Instrumente geben die Höhen der Sterne zu hoch an, sie geben die *scheinbaren Höhen*.

Die Linien S_1O und SA bilden einen Winkel, den man „Refraktion“ nennt. Subtrahiert man ihn von der scheinbaren Höhe, so erhält man die *wahre Höhe* des Sterns.

Lichtstrahlen, die senkrecht zu den Schichten einfallen, erleiden keine Brechung. Für einen Stern im Zenith ist daher die Refraktion gleich Null. Am größten ist sie für einen Stern im Horizont ($34' 54''$, für 5° noch $9' 46'',5$, für $45^\circ 57'',7$ u. s. f.).

Aus der Gröfse der Refraktion hat man rückwärts Schlüsse gezogen auf die *Höhe der Atmosphäre*. Dieselbe ergab sich

zu 12 Meilen (90 km.). Somit hört in der Höhe von 12 Meilen über Meer die lichtbrechende Eigenschaft der Luft gänzlich auf infolge der minimen Dichte derselben. — Im übrigen ergab sich aus Beobachtungen von Sternschnuppen eine Höhe der Atmosphäre von mindestens 27 Meilen (200 km).

VI.

Die scheinbare Bewegung der Sonne.

§ 34. Von den Fixsternen unterscheidet sich die Sonne dadurch, daß sie am Fixsternhimmel nicht immer dieselbe Lage beibehält. Die Änderung ist eine jährliche und kann in verschiedener Weise konstatiert werden.

Die Sternbilder rücken fortwährend nach Westen vor, indem jedes von Tag zu Tag im Osten im Vergleiche zur Sonne etwas früher emporsteigt. Besser noch beobachtet man die um Mitternacht kulminierenden Sterne. Sie sind von der Sonne in der Rektascension um 180° verschieden. Kulminiert heute ein Stern um Mitternacht, so ist er zur Zeit der folgenden Mitternacht schon westlich vom Meridian, bei der zweitfolgenden doppelt so viel u. s. f.

Die Bewegung der Sonne läßt sich also mit Hülfe der Instrumente genau verfolgen. Durch Meridianinstrument und Uhr wird man das Wachsen der Rektascension konstatieren. Die Deklinationsänderungen kann man ebenfalls am Meridianinstrumente beobachten. Auch das Äquatoreal, sowie Theodolith würden zum Zwecke führen. (Nur müßte man im letzteren Falle die Horizontkoordinaten in Äquatorkoordinaten umrechnen, § 26, wobei die Refraktion in Anschlag zu bringen ist.)

Es zeigt sich, daß die Sonne während der einen Hälfte des Jahres südlich, während der andern nördlich vom Äquator ist. Ihr Mittelpunkt beschreibt am Himmel einen größten Kreis, der schief zum Äquator steht. Er heißt die *Ekliptik*. Ihr Winkel mit dem Äquator, die *Schiefte der Ekliptik*, beträgt

$$e = 23^\circ 27' 17'', 55.$$

Indessen ist e schwankend, nimmt gegenwärtig im Jahre um $0'',48$ ab und es gilt der angegebene Wert für den 1. Januar 1880. Das Abnehmen wird nach vielen Jahren kleiner werden, im Jahre 6000 aufhören, wobei der Wert $22^{\circ}54'$ betragen wird. Von da ab nimmt e wieder ca. 8000 Jahre lang zu bis zum Maximum $23^{\circ}53'$ u. s. f. Speciell wird hier noch auf §§ 43, 61 verwiesen.

Fasst man die Ekliptik als „Äquator“ für eine neue Einteilung des Himmels auf, so kann man wieder jedem Ort am Himmel die sog. *Ekliptikkoordinaten* zuweisen. Man nennt dieselben *Länge* l und *Breite* b (astronomische, zum Unterschied von geogr.). Erstere wird auf der Ekliptik, letztere senkrecht dazu auf einem „*Breitenkreise*“ gemessen. Zur Ekliptik gehören zwei Pole: nördlicher und südlicher *Ekliptikpol*. — Wie groß ist die Distanz Pol-Ekliptikpol am Himmel? — Für das scheinbare Sonnencentrum ist stets $b = 0$.

Äquator und Ekliptik müssen sich in zwei Punkten schneiden, die auf der Kugel diametral gegenüberliegen. Der eine von ihnen ist der bereits erwähnte γ Punkt. Die Sonne ist am 20. März bei ihm. Dort resp. dann geht sie von der südlichen Hälfte des Himmels in die nördliche über. Beim entgegengesetzten Punkte ist die Sonne wieder im Äquator, es geschieht dies am 22. September und die Sonne tritt in die südliche Halbkugel zurück. — Somit fällt am 20. März und 22. September der Tagbogen der Sonne mit dem Äquator zusammen, die Sonne geht genau im Ostpunkte auf, im Westpunkte unter.

§ 35. Die Ekliptik wird vom γ Punkte aus in 12 gleiche Teile geteilt. Jedes Stück, ein Bogen von 30° , heißt ein *Zeichen*. Vom γ Punkte nach Norden resp. Osten gehend heißen sie

Widder γ ,	Stier $\varnothing$,	Zwillinge II ,
Krebs ☉ ,	Löwe ♌ ,	Jungfrau ♍ ,
Waage ♎ ,	Scorpion ♏ ,	Schütze ♐ ,
Steinbock ♑ ,	Wassermann ♒ ,	Fische ♓ .

Diese Namen entstanden in sehr alter Zeit, als der γ Punkt noch an einer anderen Stelle der Ekliptik war. Damals wurden sie den *Sternbildern des Thierkreises* beigelegt.

Diese Sternbilder bilden die nächste Umgebung der Ekliptik; ursprünglich fielen sie mit den genannten Zeichen wirklich zusammen. Jetzt ist der Anfang des Widderzeichens im Bilde der Fische (s. Präcession, § 43).

Die Sonne giebt uns eine Einteilung des Jahres in die *astronomischen Jahreszeiten*. Zur Zeit der *Nachtgleichen*, *Äquinoktien* ist sie im Äquator; zur Zeit der *Solstitien* hat sie die größte und kleinste Deklination ($+e$, $-e$). Diese Daten sind

20. März,	Anfang des Frühlings,
21. Juni,	„ „ Sommers,
22. September	„ „ Herbstes,
21. December	„ „ Winters,

können jedoch auch je um einen Tag später sein, infolge des Unterschiedes von Schalt- und Nichtschaltjahren.

Am 21. Juni und 21. December hat die Sonne den höchsten resp. den tiefsten Stand am Himmel. Für die geogr. Breite b des Beobachters und die Schiefe e der Ekliptik ergibt sich für die Kulminationshöhen an diesen genannten Tagen

$$h = 90^\circ - b \pm e.$$

Die Deklinationsschwankung der Sonne ist für jeden Ort auf der Erde gleich $2e = 47^\circ$ ca. Die Veränderung der Deklination ist aber keine regelmässige. Denn bei den Äquinoktien steigt ihre Bahn unter dem Winkel e zum Äquator an und bei den Solstitien sind beide parallel. Die raschesten Deklinationsänderungen finden also zur Zeit der Äquinoktien statt.

Nun ändert sich aber die Deklination (und die Rektascension) noch aus einem anderen Grunde unregelmässig. Schon im Altertum erkannte man nämlich, dass die Sonne im Winter in gleichen Zeiten grössere Wege in der Ekliptik zurücklegt als im Sommer.

Frage. Was lässt sich aus der Existenz des Winkels e für die Rektascensionsänderung der Sonne herleiten. Wo geschieht sie am raschesten, bezüglich am langsamsten.

§ 36. Die aus dem Laufe der Sonne gewonnene Zeiteinteilung ist bei weitem nicht so einfach, wie die nach den Fixsternen, eben infolge der unregelmässigen Rektascensionsänderung. — Zunächst nennt man die Zeit von einer (oberen)

Kulmination der Sonne bis zur nächsten: *wahrer Sonnentag*. Da die Sonne täglich nach Osten vorrückt, also entgegen der täglichen Bewegung, so ist der wahre Sonnentag stets größer als der Sterntag. Aber die Differenz ist nicht konstant wegen der Unregelmäßigkeit der Rektascensionsveränderung. — Weil die Sonne nach Verlauf eines Jahres (ca. 365 Sonnentage) wieder an dieselbe Stelle am Himmel kommt, d. h. die Ekliptik durchläuft, so *verspätet sie sich in einem Jahre genau um einen Sterntag*. Hier ist die Jahreslänge abgeleitet aus dem Stande der Sonne zu den Fixsternen und deshalb nennt man diese Dauer *siderisches Jahr* (oder „Sternjahr“).

Die wahren Sonnentage sind nach oben von ungleicher Dauer, was für die Zeiteinteilung höchst unbequem ist. Die immer gleichen Sterntage passen auch nicht als Zeitmesser im bürgerlichen Leben. (Der Anfang des Sterntages durchläuft innerhalb des Jahres alle Tageszeiten.) Namentlich zu Gunsten gut gehender Uhren *substituiert man an Stelle der wirklichen, die Ekliptik ungleichförmig durchlaufenden Sonne eine den Äquator in derselben Zeit gleichförmig durchlaufende*. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden oberen Kulminationen dieser eingebildeten Sonne heißt *mittlerer Sonnentag*. Er ist das gewöhnliche Zeitmaß. (Seine Dauer ist das arithmetische Mittel aller wahren Sonnentage.)

Für den Vergleich von Sternzeit mit mittlerer Sonnenzeit hat man

$$1 \text{ Sonnentag} = 1^d,002\,737\,9 = 24^h\,3^m\,56^s,55 \text{ Sternzeit,}$$

$$1 \text{ Sterntag} = 0^d,997\,269\,6 = 23^h\,56^m\,4^s,09 \text{ Sonnenzeit.}$$

Nimmt man den Sonnentag als Einheit an, so ist der Sterntag 0,997 269 6, somit verspätet sich die „mittlere“ Sonne täglich um $1 - 0,997\,269\,6$. Sobald diese Verspätung zu einem Sterntage angewachsen ist, ist ein siderisches Jahr vorbei. Oder das siderische Jahr hat so viel Tage, als die Verspätung in 1 Sterntage enthalten ist. Man hat aber

$$\frac{0,997\,269\,6}{1 - 0,997\,269\,6} = 365,256\,374\,4 = 365^d\,6^h\,9^m\,10^s,75 =$$

Länge des siderischen Jahres in mittlerer Sonnenzeit.

Nun weicht natürlich so zu sagen das ganze Jahr hin-

durch die wahre Sonnenzeit von der mittleren ab. Die Sonne kulminiert nicht jedesmal zur Zeit des bürgerlichen (mittleren) Mittags, sondern im allgemeinen früher oder später. Die Differenz heisst *Zeitgleichung*; sie ist für alle Tage des Jahres im voraus berechnet und schwankt zwischen $\pm 16^m$.

Frage. Für einen Tag gehe die Sonne um $7^h 19^m$ auf und um $5^h 11^m$ unter (Angabe in mittlerer Zeit). Wie groß ist für diesen Tag die Zeitgleichung (Antw. $+ 15^m$).

§ 37. *Der Kalender.* Bisher wurden drei Arten der Zeiteinteilung angegeben. Der *Sterntag* dauert von einer Kulmination des γ Punktes bis zur nächsten. Der *wahre Sonnentag* ist die Zeit von einem wahren Mittage bis zum nächsten. Der *mittlere Sonnentag* ist die mittlere Länge aus den unter sich verschiedenen wahren Sonnentagen; *astronomisch* beginnt er im mittleren Mittag, *bürgerlich* dagegen 12^h früher. So z. B. ist 24. Januar $5^h 49^m$ morgens bürgerliche Zeit identisch mit 23. Januar $17^h 49^m$ astronomische Zeit.

Von der Zeiteinteilung verlangt man nun folgendes: 1) Jeder Tag soll genau von gleicher Dauer sein, zu Gunsten der Uhren. 2) Die Jahre sollen sich in der Weise nach der Sonne bemessen, daß dieselben Daten für alle Jahre dieselben Jahreszeiten angeben. 3) Jedes Jahr soll eine ganze Anzahl von Tagen haben. — Dagegen verlangt man nicht, daß alle Jahre genau gleichviele Tage haben.

Die Tage haben wir bereits gefunden, es sind das die mittleren Sonnentage. Es fragt sich nur noch: Wie viele solcher Tage braucht es, bis wieder dieselbe Jahreszeit da ist? Als Kennzeichen dafür kann man den höchsten oder tiefsten Stand der Sonne (Dekl. $\pm e$) ansehen oder auch die Durchgänge durch den Äquator*). Bestimmt man die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Äquator (Eintreffen im γ Punkt), so hat man damit die Länge des Jahres gefunden, welches für das bürgerliche Leben das zweckmässigste ist. (Am besten wird man erst seine Länge in Sterntagen feststellen und dann dieselbe

*) Welches von beiden läßt sich wohl leichter und vor allem genauer ausführen?

in mittlere Sonnenzeit verwandeln.) — Man fand für diese Zeitdauer das sog. *tropische Jahr*,

$$365^d,242\,22 = 365^d 5^h 48^m 47^s,5,$$

ausgedrückt in mittlerer Sonnenzeit.

Da die Länge des bürgerlichen Jahres nicht eine ganze Anzahl bürgerlicher Tage hat, so wird man neben Jahren von 365^d noch solche von 366^d einführen müssen.

Die *Agypter* nahmen die Jahreslänge einfach zu 365 Tagen an, also $0^d,242\,22$ (ca. $\frac{1}{4}$) zu wenig. Deshalb rückte bei ihnen der Jahresanfang jährlich um ca. $\frac{1}{4}$ Tag vor, in 4 Jahren um 1^d und in $4 \times 365 = 1460$ Jahren nahezu um 1 Jahr. Somit durchlief in der altägyptischen Zeitrechnung der Jahresanfang, „Neujahr“, in ca. 1460 Jahren alle Jahreszeiten.

Frage. Wie groß ist diese annähernd als 1460 gegebene Zahl wirklich (wobei der vorhin durch $\frac{1}{4}$ ersetzte Bruch zu $0,242\,22$ genommen wird).

Die *Römer* rechneten vom Jahre 45 v. Chr. auf Anregung von *Julius Cäsar* hin nach der Sonne, früher nach dem Mond. Die gewöhnlichen Jahre hatten 365 Tage, jedes vierte Jahr war ein *Schaltjahr* mit 366 Tagen. Somit hatte nach diesem *Julianischen Kalender* das Jahr im Mittel $365^d,25$, was zu viel ist. — Da $365^d,25 = 365^d 6^h$, so ist im Mittel die Jahreslänge zu groß um

$$365^d 6^h - 365^d 5^h 48^m 47^s,5 = 11^m 12^s,5 = 672^s,5.$$

Um diesen Betrag verspätet sich der Jahresanfang jährlich. Da $1^d = 86\,400$ Sekunden, so beläuft sich diese Verspätung in $86\,400 : 672,5 = 128,4$ Jahren auf 1^d , somit auf 3^d in 385 Jahren. Mit andern Worten kann man sagen, daß alle 385 Jahre 3 Schalttage zu viel sind.

Um das auszugleichen, verordnete Pabst *Gregor XIII.* (1582), daß jedem nicht durch 4 teilbaren Säkularjahre der Schalttag zu nehmen sei. Es fallen nach diesem *Gregorianischen Kalender* in 400 Jahren 3 Schalttage weg, sollten aber in 385 Jahren wegfallen. Es ergibt sich somit im Laufe der Jahrtausende wieder eine Abweichung und es beträgt dieselbe in 3570 Jahren je einen Tag.

Nämlich in 400 Jahren hat Gregor

$$400 \times 365 + 100 - 3 = 146\,097 \text{ Tage.}$$

Es sollten sein

$$400 \times 365,242\,22 = 146\,096,088 \text{ Tage.}$$

Somit hat Gregor in 400 Jahren zu viel $0,112 = \frac{112}{1000} = \frac{14}{125}$ Tage, also in $400 \times \frac{125}{14}$ Jahren 1 Tag, d. i. in 3570 Jahren.

Den Julianischen Kalender hat z. B. Rußland beibehalten, es rechnet nach dem *alten Styl*. Wir aber haben dagegen den greg. Kalender und rechnen nach dem *neuen Styl*. Der Unterschied ist jetzt 12 Tage (im nächsten Jahrhundert 13), so daß z. B. 1880 bei uns das Äquinoktium auf den 20. März, in Rußland auf den 8. März fällt.

Die *Feste* sind entweder *unbeweglichen Datums*, wie z. B. Neujahr, oder *bewegliche*. Letztere richten sich nach *Ostern*, dem ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond nach Frühlings-Tag- und Nachtgleiche (§ 47).

§ 38. Zur Auffindung der Fixsterne bedient man sich der *Sternkarten*. Ihre Einrichtung ist zunächst der geographischen analog. Man hat ein Netz, bestehend aus den Bildern der Deklinations- und Parallelkreise und in dasselbe lassen sich die Sterne von bekannten Äquatorkoordinaten eintragen. Die Karte giebt die Abbildung von etwas mehr als der Hälfte des Himmels.

Für einen Ort unter der geogr. Breite b genügt eine einzige Karte. Denn an diesem Orte werden nur die Sterne sichtbar vom Pol bis zum antarktischen Kreise. Ihre Deklinationen schwanken zwischen $+90^\circ$ und $-(90 - b)^\circ$. Da man nun aber Abends stets nahe zur selben Zeit die Sterne beobachten will, so ist von den Sternen der Karte nur je ein Teil sichtbar, nämlich die Circumpolarsterne und die auf- und untergehenden, die nahe bei der Kulmination sind. Letztere Sterne sind aber nicht das ganze Jahr hindurch dieselben, indem die Sterne jeden Abend um 4^m vorrücken (1° in Rektascension). Man bringt deshalb innerhalb des Rahmens A der Sternkarte C einen drehbaren Karton B an, Fig. 30 welcher die nicht sichtbaren Sterne dem Auge verdeckt. Die, innere Begrenzungslinie von B ist das Bild des Horizontes. Würde man die Karte jeden Abend zur selben Zeit benutzen,

so müßte man den Teil *B* von Tag zu Tag um ca. 1° im Sinne der zunehmenden Rektascension drehen.

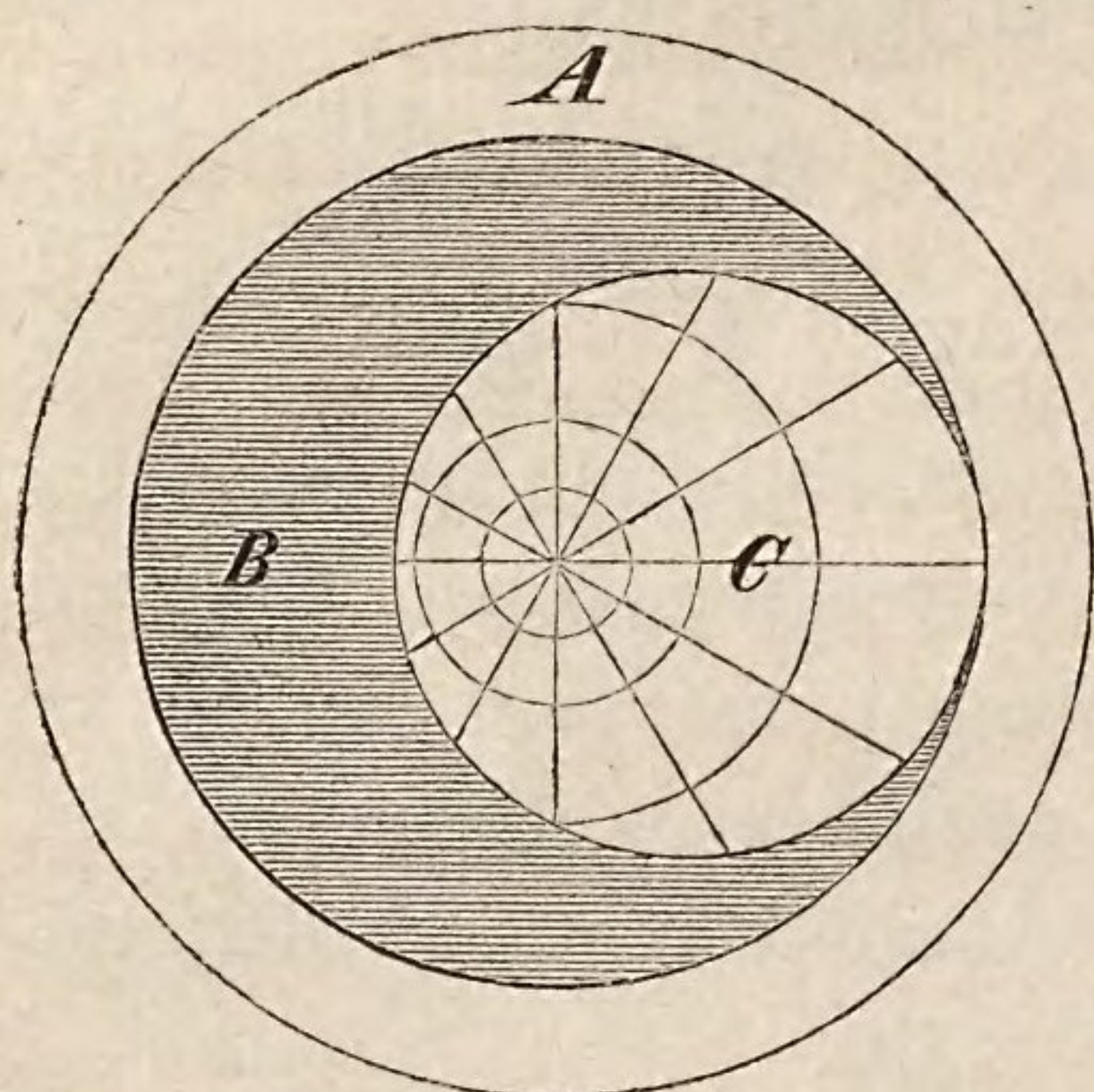


Fig. 30.

Für Orte nahe dem Erdäquator würde nun aber die antarktische Zone klein ausfallen. Es müßte die Karte nahezu das ganze Himmelsgewölbe umfassen, was für die Zeichnung ungünstig ist. Es empfiehlt sich dort 4 Karten einzuführen, die für je eine Jahreszeit gelten und die auch für höhere geogr. Breiten von Wert sind.

§ 39. Die *Sonnenuhren* geben die unmittelbare Ablesung der wahren Sonnenzeit aus dem Schatten eines Stiftes. Dieser Stift *ABC*, Fig. 31, muß

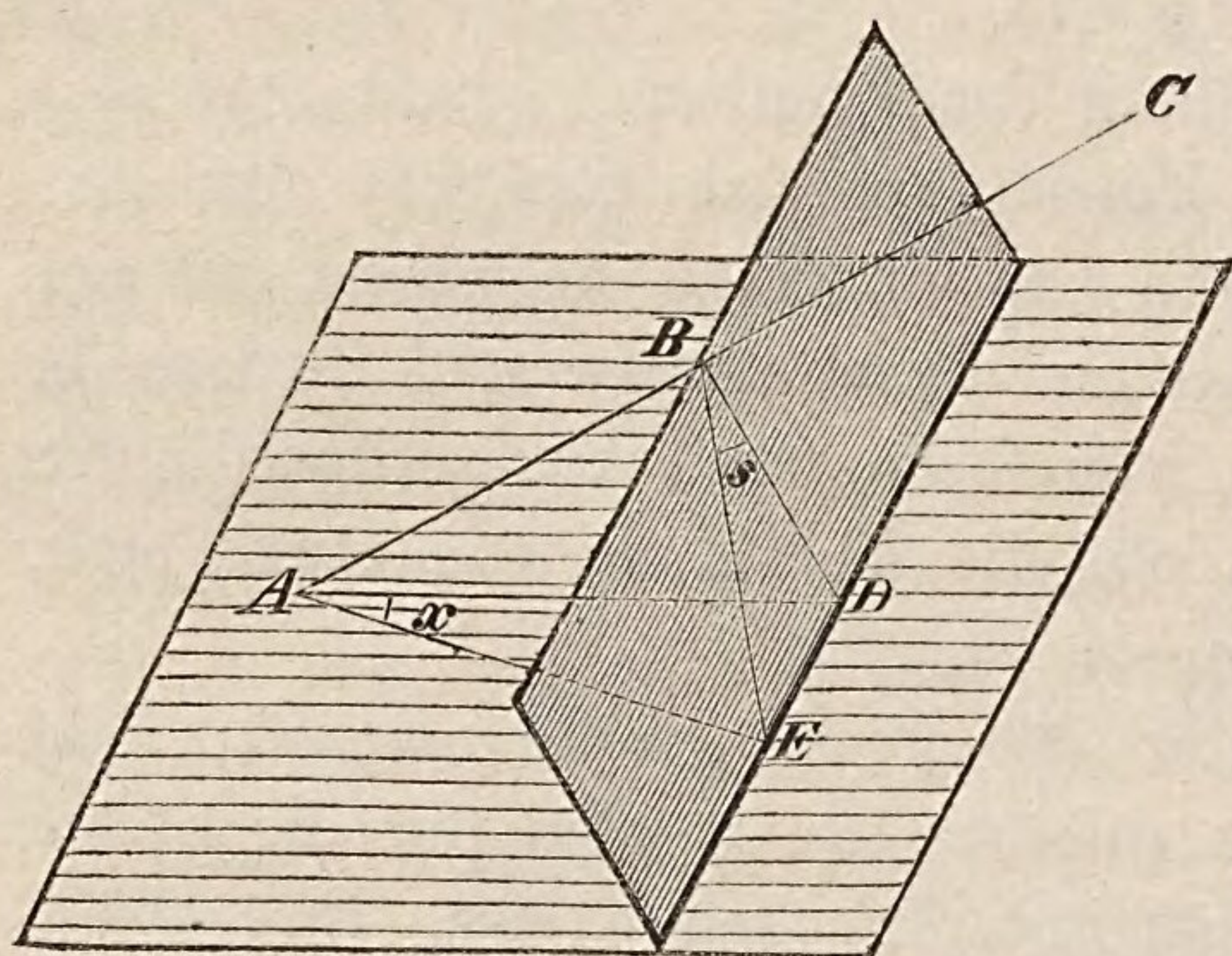


Fig. 31.

parallel der Weltaxe gestellt sein. Dann ist *AD* die Richtung der Mittagslinie im Horizont, $\angle BAD = \text{geogr. Breite}$. Legt man durch den Stift *ABC* Ebenen, so treffen sie das Himmelsgewölbe in Deklinationsskreisen, die vertikale Ebene *ABD* im Meridian. Wenn somit

der Schatten des Stiftes in *AD* auf den Horizont resp. in *BD* auf die Ebene *BDE* fällt, so ist dieser Moment der wahre Mittag.

Sei nun die Ebene *ADE* wieder horizontal, *BDE* aber senkrecht zur Ebene des Stiftes, also parallel zur Erdäquator-ebene, und falle der Schatten des Stiftes in letzterer Ebene in *BE*, welche mit *BD* den Winkel *s* bildet. Dieser Winkel ist dann aber zugleich der Neigungswinkel zwischen Meridianebene *ABD* und Deklinationsebene *ABE*, in der sich die Sonne momentan befindet. Das ist der Stundenwinkel der Sonne. In Zeit verwandelt giebt er an, vor wie lange die

Sonne kulminiert hat, d. h. eben die wahre Sonnenzeit. Dieser Schatten BE dreht sich in jeder Stunde um 15° um B , d. h. er durchstreicht die an BD stoßenden Quadranten je in 6 Stunden gleichmäÙsig. Somit teile man diese Quadranten durch Linien aus B in je 6 gleiche Teile ein, so geben die Teilstriche die Lage des Schattens für alle Stunden des Tages an (zunächst von 6^h morgens bis 6^h abends). Damit hat man die Skala für die sog. Äquatorealuhr. Dieselbe muß zu beiden Seiten der Fläche BDE angebracht sein, da für positive Deklination der Schatten auf die Seite von C , bei negativer auf die von A fällt.

Dreht man nun die Ebene BDE mit der darin enthaltenen Skala um DE in die Ebene ADE herab, so gelangt B nach B_2 (Fig. 32). Dort konstruiere man von B_2D nach rechts und links die Skala der Äquatorealuhr, schneide DE mit den Schattenstrichen und verbinde die Schnitte mit A . Diese Strahlen sind dann die Schatten auf die Horizontalebene. Denkt man sich dieselbe vollständig konstruiert, AD in die Richtung der Mittagslinie gebracht und bei A parallel

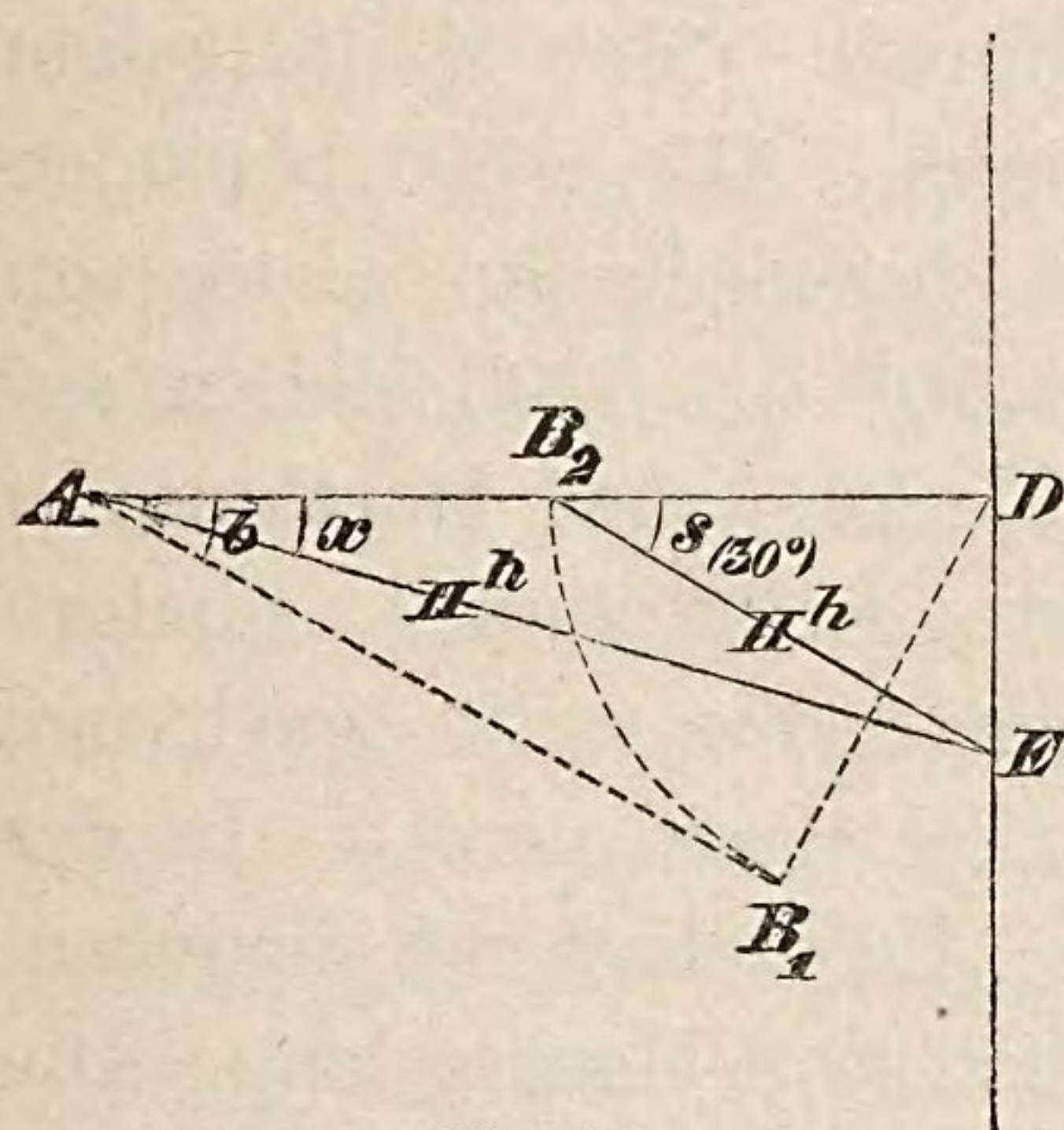


Fig. 32.

zur Weltaxe einen Stift eingesteckt, so ist die *Horizontaluhr* fertig.

Fragen. Kann man am Äquator auch eine Horizontaluhr konstruieren. Warum ist dort die Äquatorealuhr zugleich eine Vertikaluhr. Was läÙt sich von Horizontal- und Äquatorealuhr am Pol aussagen.

VII.

Die Sonne und die Revolution der Erde.

§ 40. *GröÙe und Beschaffenheit der Sonne.* Wenn die Sonne durch Fernröhre beobachtet wird, so muß das intensive Licht durch farbige Gläser geschwächt werden. Sowohl

Sonnenscheibe als Sonnenrand sind namentlich seit Bekanntwerden der Spektralanalyse Gegenstand fortwährender Beobachtung.

Vor Allem erscheint die Sonne als runde Scheibe mit dem Durchmesser $32' 3'',64$. Diese Zahl ist aber veränderlich, nämlich im Winter gröfser als im Sommer. Der gegebene Wert ist der mittlere; die Grenzwerte sind $32' 36'',5$ und $31' 32''$.

Wie die Instrumente und namentlich auch die Photographie zeigen, kommen auf der Sonne sogenannte *Flecken* vor. Sie sind verhältnismäfsig dunkle, unregelmäfsig begrenzte Stellen von nicht regelmäfsiger Gruppierung. Oft kommen tage- und wochenlang keine vor, zu anderen Zeiten dagegen viele, einzeln oder in Gruppen. (Man zählte schon 95, die zu gleicher Zeit sichtbar waren.) Die gröfsten mögen dem blofsen Auge sichtbar sein. In diesem Falle sind sie von einem Durchmesser von mindestens $50''$ (ca. 5000 Meilen auf der Sonne selbst). Die gröfsten Flecke haben Durchmesser bis 30 000 Meilen. Sie sind nicht absolut dunkel, sondern im Verhältnis zur übrigen Sonnenscheibe matt leuchtend, und nur der Kontrast läfst sie dunkel erscheinen. — In der Regel sind die Flecke von einem „Halbschatten“ umgeben.

Ein solcher Fleck besteht höchstens 6 Monate lang. Die Beobachtung ergibt für alle Flecke eine Bewegung vom Ostrande zum Westrande in je 2 Wochen. Nach weiteren 2 Wochen erscheinen sie wieder am Ostrande u. s. f. Hierbei verändert sich ihre Form fortwährend. Es findet auch Vereinigung und Trennung statt, letzteres geht dem Erlöschen immer voraus (die hellen Teile strömen in den Fleck).

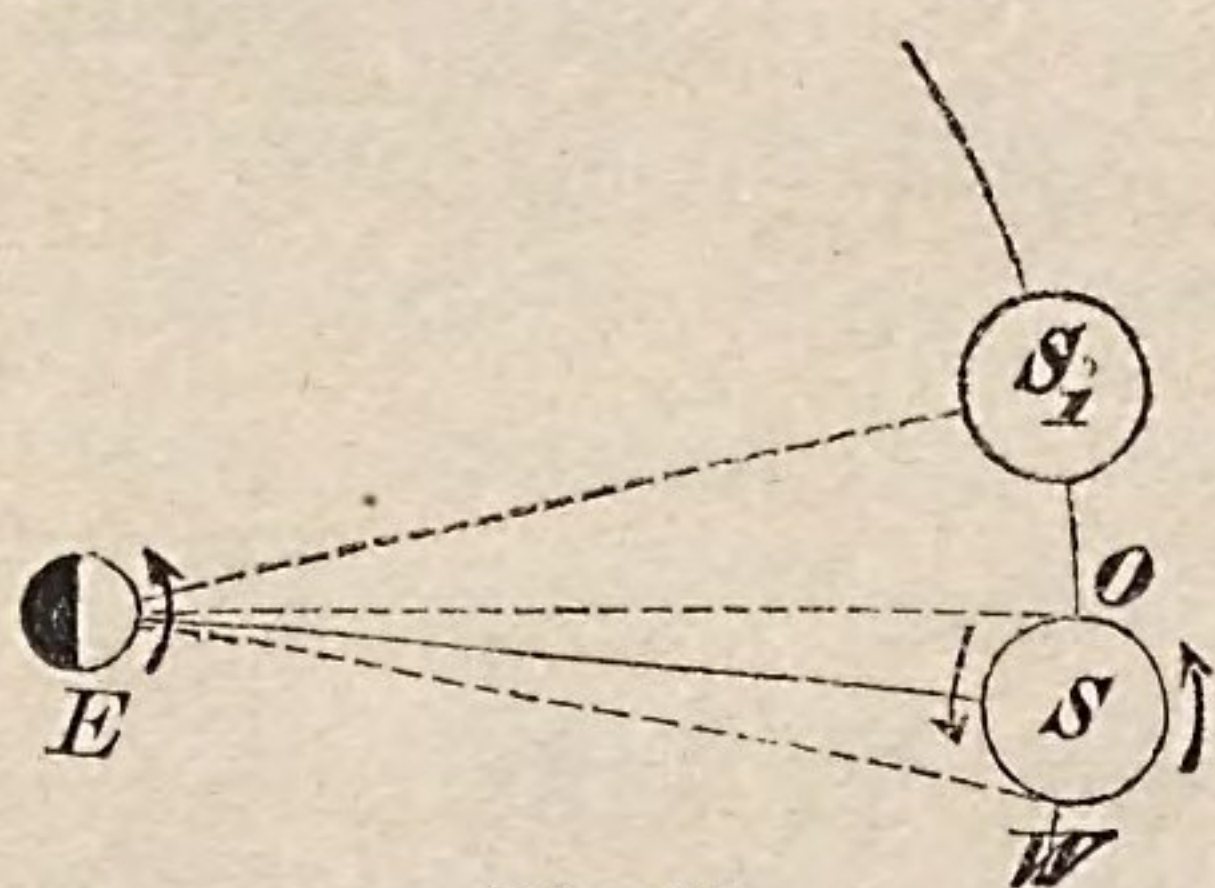


Fig. 33.

Aus der Bewegung der Flecke schliesst man, *dass die Sonne sich selbst um eine Axe dreht* und zwar in $25\frac{1}{2}$ Tagen je einmal im selben Sinne wie die Erde, wie Fig. 33 ergibt. *E, S, O, W* sind Erde, Sonne, Ost und West. — Bei der Be-

rechnung der Rotationsdauer hat man zu berücksichtigen, dass sich die Sonne von der Erde aus gesehen selbst nach

Osten bewegt. — Der Sonnenäquator bildet mit der Ekliptik einen Winkel von 7° .

Weil auch während der Drehung die Sonne sich immer kreisförmig begrenzt zeigt, so ist damit ihre Kugelgestalt erwiesen. Ihr Durchmesser ist 186 576 Meilen = 108,5 Erddurchmesser.

Die Flecken sind gewöhnlich von *Fackeln* umgeben. Diese sind heller als die gewöhnliche Sonnenscheibe, ferner sind sie veränderlich und entstehen und vergehen oft innerhalb weniger Tage. Wenn sich auf der Sonne viele Flecken zeigen, so sind auch viele Fackeln da. Häufig ist eine Fackel der Vorläufer eines an dieser Stelle entstehenden Fleckes. Die Fackeln zeigen im übrigen dieselbe Bewegung wie die Flecken.

Ist eine Fackel infolge der Drehung der Sonne eben am Rande der Scheibe angelangt, so kann man sie am deutlichsten wahrnehmen und z. B. ihre Höhe messen. In diesem Fall heißen die Fackeln *Protuberanzen*. Die Höhe beträgt bis zu 100 000 Meilen.

Auch die übrige Sonnenscheibe leuchtet nicht gleichmäÙig hell. Überall erblickt man hellere, kleine rundliche „Schuppen“ mit dunkleren Zwischenräumen. Diese Erscheinung nennt man *Granulation*. Hierbei findet rascher Wechsel statt und z. B. nach Verlauf einer Stunde ist der Anblick derselben Stelle der Sonnenscheibe ganz verändert.

Man erkennt so, daß der eigentliche Sonnenkörper eine sehr hohe Temperatur besitzt. Die darauf folgende Schicht von 1000—1500 Meilen Höhe heißt *Chromosphäre* und besteht aus glühenden Dämpfen der verschiedensten chemischen Substanzen, unter denen unsere chemischen Elemente fast sämtlich nachweisbar vertreten sind. Überhalb der Chromosphäre ist die *Corona*. Sie ist am Äquator am wenigsten hoch, am höchsten gegen die Pole hin. Sie besteht aus abgekühlten Dämpfen.

Vom Sonnenkörper her durch die Chromosphäre hindurch brechen nun fortwährend kleinere und gröÙere Flammen in die Corona empor, die man als Granulationskörner oder als Fackeln wahrnimmt. Diese Eruptionen werden hauptsächlich durch Wasserstoffgase gebildet, die sich durch ihre rote

Farbe bemerkbar machen. — Ohne Zweifel sind die Flecken eine Art von Schlacken (Abkühlungsprodukte), die bei dieser Verbrennung gebildet werden.

Für die Flecken hat man eine elfjährige Periode gefunden, die merkwürdigerweise mit derjenigen der Variationen des Erdmagnetismus und der Häufigkeit der Polarlichter übereinstimmt.

Frage. Wie groß ist ein Bogen zuvorderst auf der Sonne, der uns unter dem Winkel von 1'' erscheint.

§ 41. *Gravitation und Kepler'sche Gesetze.* Dafs jeder Körper an der Erdoberfläche, der unterstützt wird, einen Druck auf seine Unterlage ausübt, ist eine Folge der Anziehung der Erde. Die Gröfse des Druckes, das Gewicht des Körpers, hängt von seiner *Masse* ab, d. h. von der Menge der im Körper enthaltenen Materie. Die Mechanik zeigt, dafs die Masse das Verhältniss ist aus dem Gewichte des Körpers zur Acceleration der Schwerkraft (9,808 Meter). — Die Anziehung findet nun aber nicht nur im genannten Falle statt, sondern sie besteht für je zwei Massen im Weltenraume und ist eine gegenseitige.

Zwei beliebige Körper des Weltenraumes ziehen sich gegenseitig an mit einer Kraft, die proportional ist dem Produkte ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung. Seien M_1 , M_2 die Massen, r ihre Entfernung, so ist die Kraft, mit der jeder Körper den andern anzieht, gleich

$$P = C \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}.$$

Hierbei ist C eine (im ganzen Weltenraum) konstante Gröfse. Ihre Bedeutung ist einfach folgende: Zwei Körper von der Masse 1 bringe man in die Entfernung 1, so zieht jeder Körper den andern mit der Kraft C an, d. h. C ist die Anziehung, die eine Masseneinheit auf eine andere Masseneinheit in der Entfernung gleich der Längeneinheit ausübt.

Indem wir das auf unsere Erde anwenden, ist im voraus zu bemerken, dafs die Sonne auf die Erde eine beträchtliche Anziehung auszuüben im Stande ist. Der Mond, der uns bedeutend näher ist, wie man schon mit blofsem Auge beurteilen kann, hat so wenig Masse, dafs die Anziehung

der Sonne hier allein als wesentlich in Betracht zu ziehen ist.

Hätte nun die Erde keine eigene fortschreitende Bewegung, so würde die Anziehung der Sonne bewirken, daß die Erde sich mit wachsender Geschwindigkeit der Sonne nähern und in dieselbe hineinstürzen würde. Da das nicht geschieht, so muß vielmehr der Erde eine eigene Bewegung zugeschrieben werden.

Sei nun die Erde erst bei E_1 , Fig. 34. Die Sonne S ziehe sie so an, daß sie nach einer Woche bei A_1 anlangen würde. Allein die der Erde bereits innewohnende Bewegung würde sie in dieser Woche nach B_1 treiben, wenn die Anziehung der Sonne nicht vorhanden wäre. Wie die Mechanik lehrt, gelangt in diesem Falle die Erde in derselben Zeit nach E_2 , dem vierten Eckpunkt des durch $E_1 A_1 B_1$ bestimmten Parallelogramms. Dort angelangt, wird die Erde von der Sonne wieder nahezu mit gleicher Kraft angezogen, da sich die Distanz nur wenig geändert haben wird. Infolge dessen würde nach Verlauf der zweiten Woche die Erde nach A_2 gebracht, infolge der vorhandenen Eigenbewegung aber nach

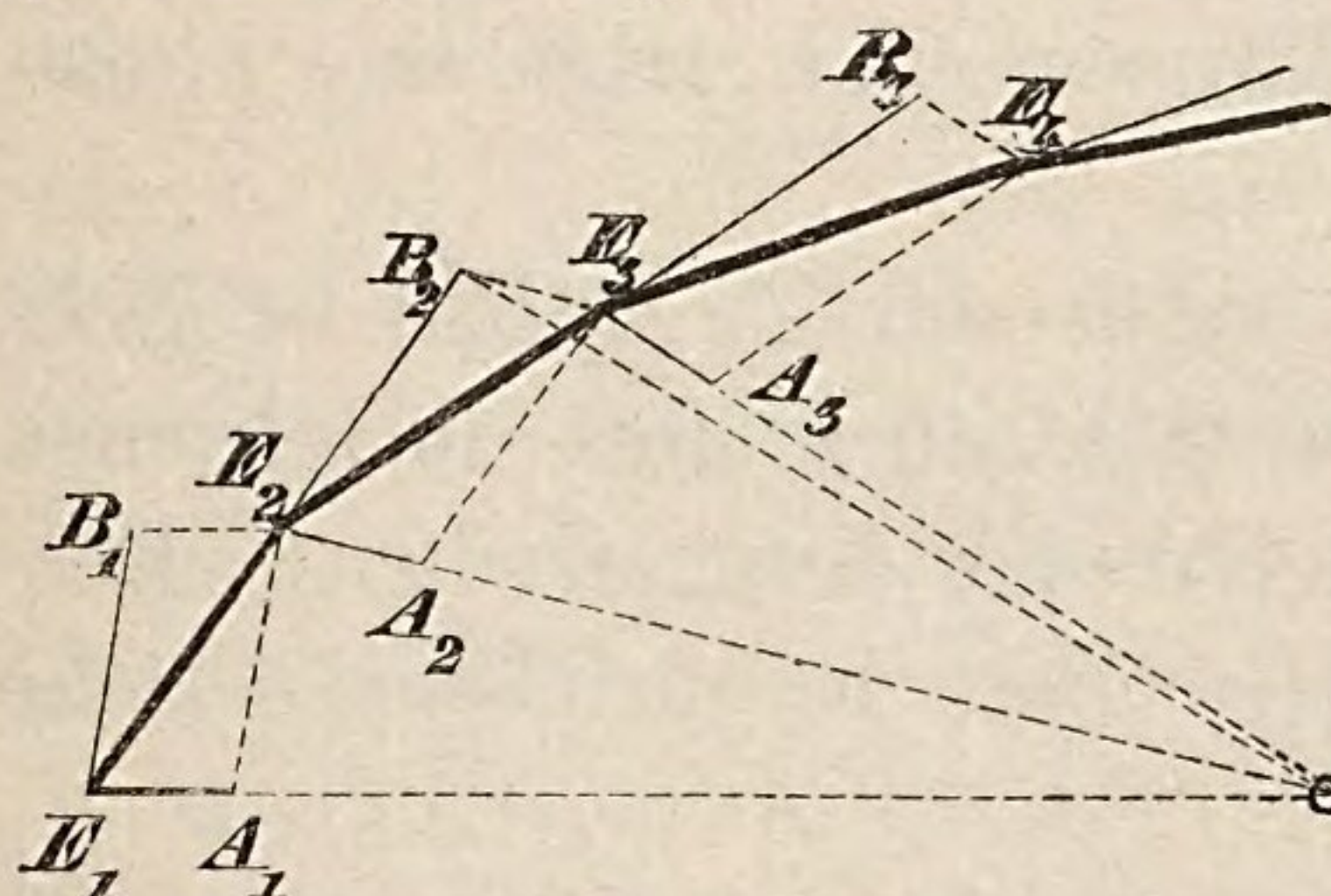


Fig. 34.

B_2 (wobei $E_1 E_2 = E_2 B_2$). Somit gelangt sie am Ende der zweiten Woche nach E_3 . Eine Woche später trifft sie in E_4 ein u. s. w. Nach dieser Betrachtung wäre das Polygon $E_1 E_2 E_3 E_4 \dots$ die Bahn der Erde um die Sonne.

Vor allem ist dieses Polygon ein *ebenes*. — Aus der Fig. 34 erkennt man leicht, daß die Dreiecke

$$E_1 E_2 S, E_2 B_2 S, E_2 E_3 S, \text{ u. s. f.}$$

flächengleich sind.

Diese Übergangsstellen $E_2, E_3 \dots$ sind nun eigentlich in jedem Moment da, nicht nur je nach Verlauf von einer Woche. Denn während die Erde von E_1 nach E_2 geht, ändert die Linie Erde-Sonne fortwährend ihre Richtung und es wäre die Figur nur dann richtig, wenn $E_1 E_2 \dots$ unendlich nahe aufeinander folgen würden. Dann ist aber das Polygon eine

Kurve und man erkennt, daß die Bahn der Erde eine stetig gekrümmte Linie ist. (Strenge genommen ist die Bewegung $E_1 B_1$ als stetige, $E_1 A_1$ dagegen als gleichförmig beschleunigte aufzufassen, die Zusammensetzung ergibt für das Bahnstück $E_1 E_2$ eine krumme Linie.)

Die Erde ist nicht der einzige Körper, welcher, von der Sonne angezogen, sich um dieselbe bewegt. Die *Planeten* verhalten sich in dieser Beziehung wie die Erde. Für ihre Bewegung um die gemeinsame Sonne bestehen die folgenden *Kepler'schen Gesetze*:

- I) Die Planeten bewegen sich in Ellipsen um die Sonne, letztere steht je in einem Brennpunkte der Bahn.
- II) Der Radius vector (Verbindungsline Planet-Sonne) beschreibt für jeden einzelnen Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.
- III) Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten um die Sonne verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Sonnenabstände.

Bem. zu I: Fig. 35 zeigte, daß die Planetenbahnen Kurven sind. Daß aber diese nicht etwa spiralförmig, sondern genau in sich zurückkehrende Ellipsen sind, zeigt eine kunstvolle Rechnung.

Bem. zu II: Aus Fig. 35 ergab sich $\triangle E_1 E_2 S = \triangle E_2 E_3 S = \dots$. Diese Dreiecke werden aber dort in gleichen Zeiten beschrieben (vom Radius vector durchstrichen). Deshalb ist die in einer beliebigen Zeit beschriebene Fläche dieser Zeit proportional.

Aus dem zweiten Gesetz folgt, daß die Planeten sich in Sonnennähe am schnellsten, in Sonnenferne aber am langsamsten in ihren elliptischen Bahnen bewegen und daß die Bewegungen um die Sonne für Planeten mit nahe kreisrunden Bahnen auch nahezu gleichförmig vor sich gehen.

Bem. zu III: Unter den Umlaufszeiten sind die siderischen verstanden, d. h. die Zeiten bis zur Rückkehr zum selben Punkte der Bahn. Das Gesetz ist nur sehr nahezu richtig. — Der mittlere Sonnenabstand ist die halbe große Axe der Bahn, also der Radius vector für jeden Scheitel der kleinen Axe.

Fragen. Wie wird sich die Gravitationskraft bemerkbar

machen für zwei Planeten, die sich bei ihren Revolutionen nahe treten. — Welcher Satz zeigt, daß die der Sonne nahen Planeten kürzere Umlaufszeiten haben, als die der Sonne ferner gelegenen.

§ 42. Die *Revolution der Erde* (Ursache der scheinbaren jährlichen Bewegung der Sonne). Es stellt Fig. 35 das Himmelsgewölbe dar mit der Sonne als Zentrum. Die Bahn

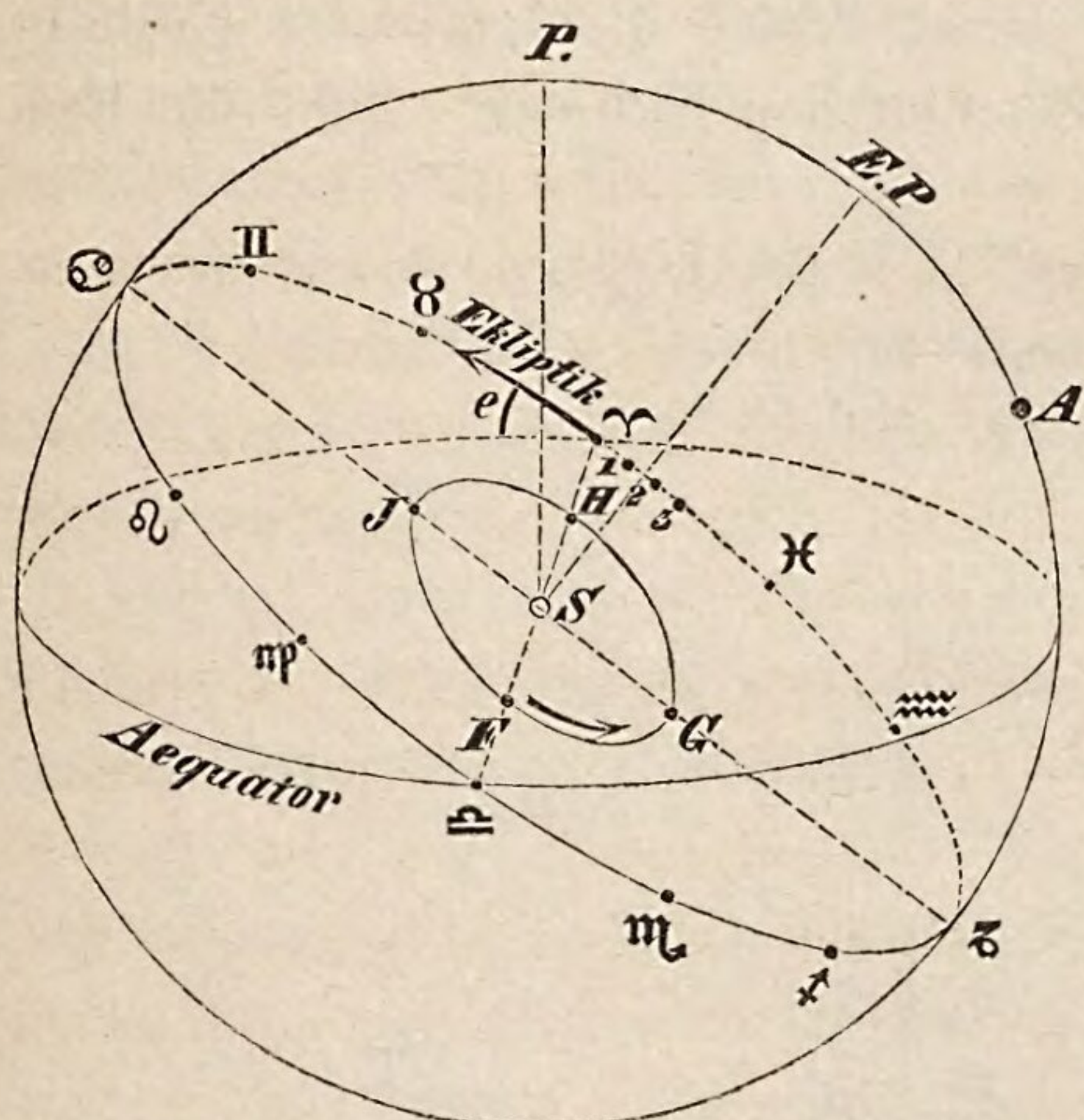


Fig. 35.

der Erde um die Sonne ist $FGHJ$. Die Figur enthält außerdem den Himmelsäquator und den Pol P . Während der Revolution der Erde ist ihre Axe immer parallel SP , die Erdäquatorebene parallel der Ebene des Himmelsäquators. Geht die Erde von F nach G, H, J , so sieht man die Sonne von der Erde aus aufeinanderfolgend bei den

Punkten $\gamma, \odot, \text{♈}, \text{♉}$ und den dazwischenliegenden. Diese Punkte sind die Anfangspunkte der Zeichen des Thierkreises (§ 35). — Bewegt sich die Erde von F bis G , so scheint die Sonne die Zeichen Widder, Stier, Zwillinge zu durchlaufen.

Der Winkel e der Ekliptik mit dem Erdäquator ist in § 34 eingeführt worden. Da die Erdaxe stets zu PS parallel ist, so wird sie mit der Ebene der Ekliptik den Winkel $90^\circ - e = 66^\circ 32' 42'', 45$ (1. Januar 1880) bilden.

Die Ebene der Erdbahn ist fest, somit auch Ekliptik und Ekliptikpol. In § 34 wurden beide zu einer Einteilung des Himmels benutzt. Die Ekliptik-Länge zählt man vom γ Punkte im Sinne der scheinbaren Bewegung der Sonne. Für Eintritt der Sonne in die verschiedenen Zeichen wird somit Länge je $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ etc. sein.

Frage. Wie groß sind Länge und Breite für die Pole des Himmelsgewölbes.

Die Deklination der Sonne ist ein Minimum, wenn die Sonne in das Zeichen des ♊ tritt, ein Maximum für den Eintritt in ♋ . Man nennt deshalb die Zeichen $\text{♊} \approx \text{♈} \text{ } \text{♉} \text{ } \text{♊}$ *aufsteigende*, $\text{♋} \text{ } \text{♌} \text{ } \text{♍} \text{ } \text{♎} \text{ } \text{♏} \text{ } \text{♐}$ *absteigende*. Beim Durchlaufen der ersteren wächst die Deklination von $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ bis $+23\frac{1}{2}^{\circ}$, dagegen nimmt sie wieder auf $-23\frac{1}{2}^{\circ}$ ab beim Durchlaufen der letzteren.

Fig. 36 giebt in genauer Weise die Lage der Erdbahn in Verbindung mit den Zeichen der Ekliptik. Geht die Erde

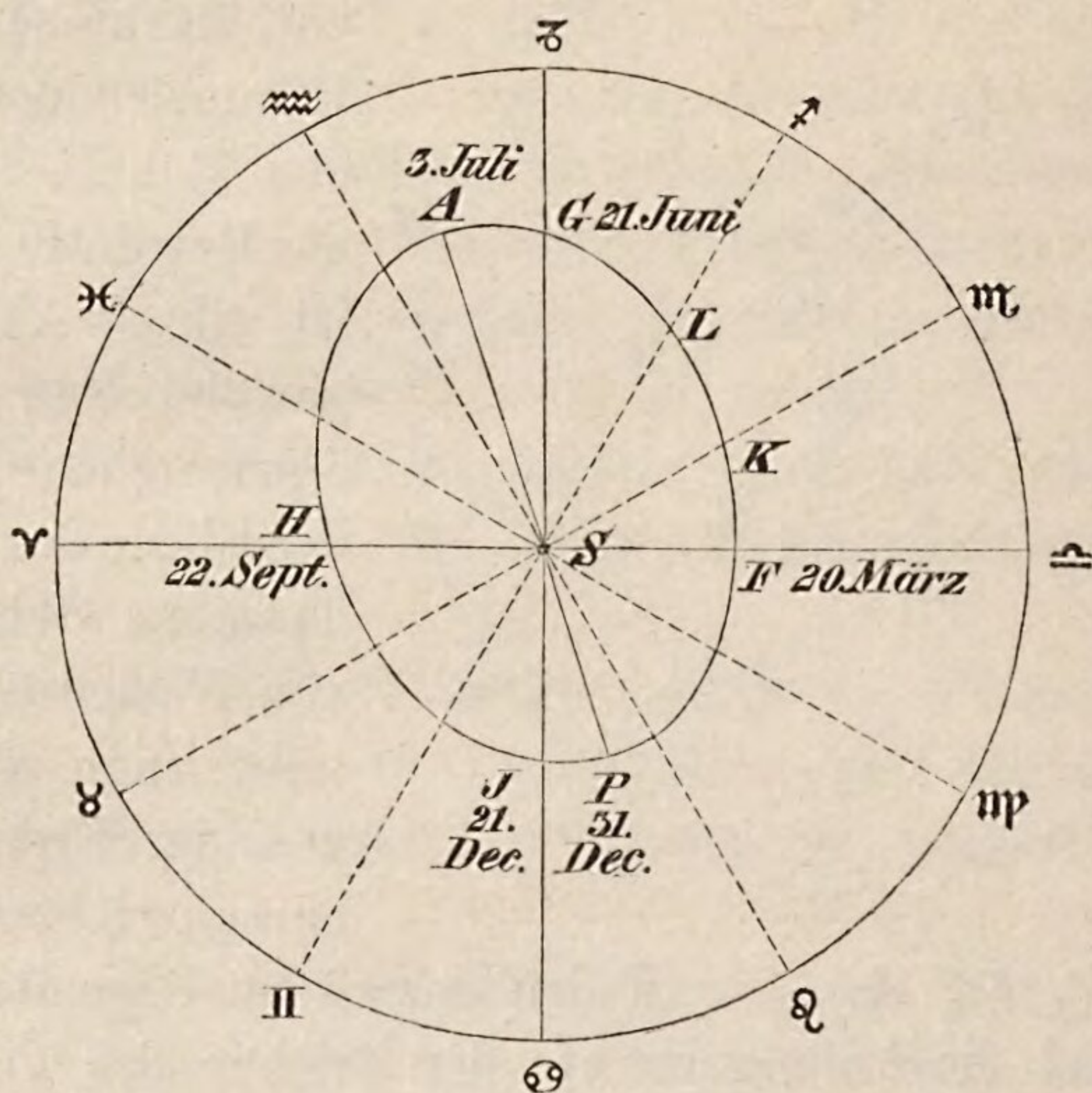


Fig. 36.

durch F , K , L ..., so tritt je die Sonne in die Zeichen γ δ ♈ ... Die Hauptdaten sind in die Figur eingetragen. Sie sind die Anfänge der astronomischen Jahreszeiten (§ 35). Die Figur enthält außerdem die Punkte A und P , in denen die Erde am 3. Juli und 31. December anlangt. Bei A ist die Erde in Sonnenferne (*Aphelium*), bei P in Sonnennähe (*Perihelium*). Diese Punkte sind die Scheitel der großen Axe der Erdbahn. — Am 3. Juli muß die Sonne am kleinsten erscheinen und die langsamste scheinbare Bewegung zeigen; am 31. December findet das entgegengesetzte statt.

Die *Distanz der Erde von der Sonne* ist im Mittel $148\,840\,000 \text{ km} = 20\,060\,000 \text{ Meilen} = 23\,380 \text{ Erdradien}$.

Fig. 36 erklärt ferner, daß die astronom. Jahreszeiten

von ungleicher Dauer sind. Der „Quadrant“ JF wird am raschesten durchlaufen (Winter), da in ihn das Perihel fällt. Im Gegensatz dazu nimmt der Weg der Erde von G nach H die größte Zeit in Anspruch. Im übrigen zähle man die Tage vom 20. März bis 21. Juni u. s. f. (was natürlich kein ganz genaues Resultat liefert).

Da die Deklination der Sonne z. B. vom 20. März bis 21. Juni wächst und zwar anfangs rascher, dann langsamer, so kann alsdann die *tägliche Bahn der Sonne* nie genau ein Parallelkreis sein. Am Abend eines Tages ist die Sonne auf einem nördlicheren als Morgens (ausgenommen etwa 21. Juni). Deshalb beschreibt sie in diesen Tagen Bogen von „Schraubenlinien“, jeden Tag ein wenig mehr als die Hälfte eines Schraubenganges.

Frage. Wie viele solcher Windungen sind in jeder Jahreszeit vorhanden; wo sind die Windungen näher beisammen, wo weiter auseinander.

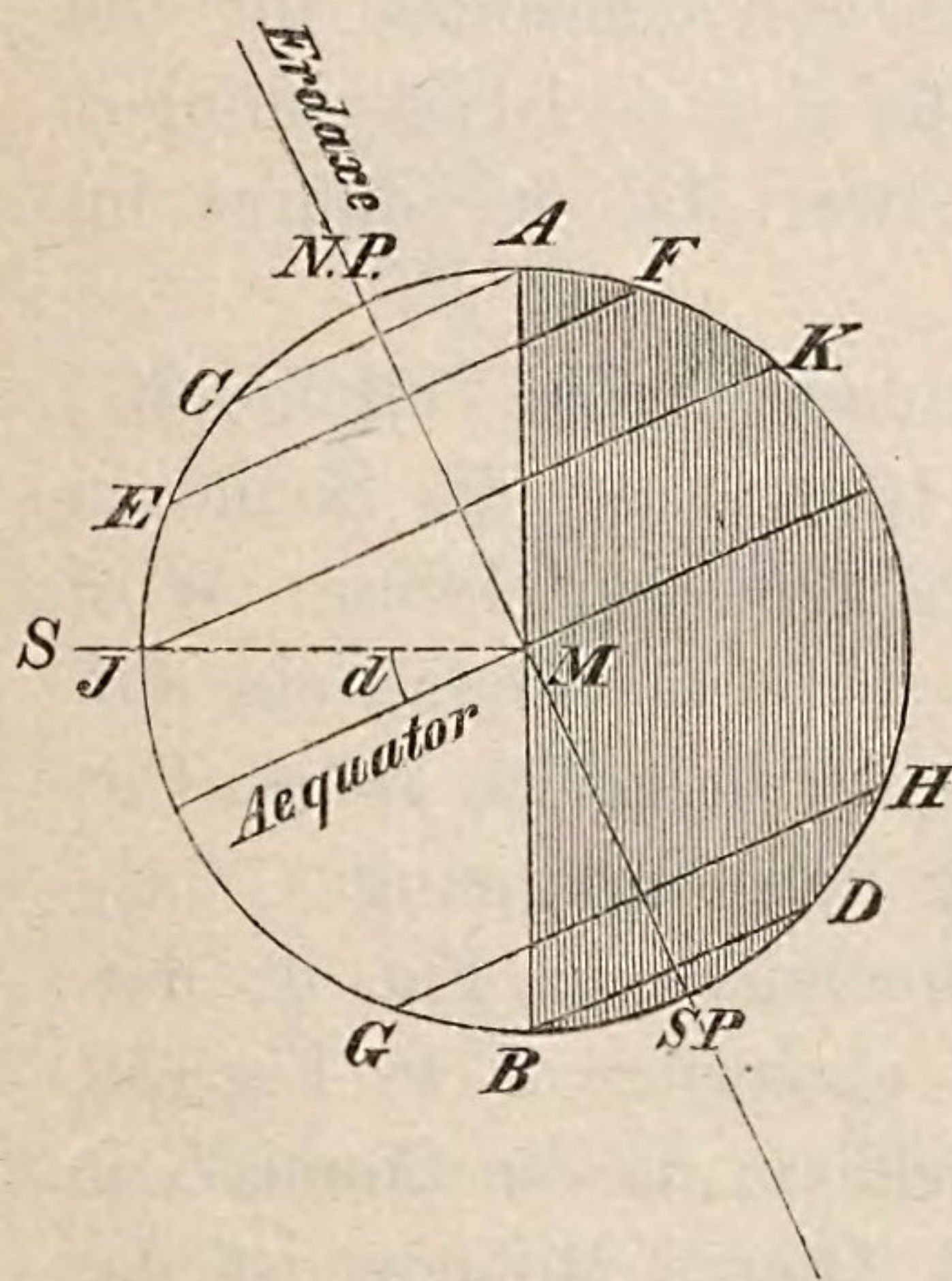


Fig. 37.

§ 43. Um zunächst die Bedeutung der astronomischen Jahreszeiten zu erfahren, nehmen wir an, es sei für irgend welchen Tag die Deklination der Sonne gleich d . In Fig. 37 ist die Erde dargestellt. Die Sonne ist in der Richtung MS . Die Beleuchtungsgrenze auf der Erde ist der Großkreis AB , dessen Ebene senkrecht zu MS ist. Die Halbkugel links von AB hat *Tag*, die rechts *Nacht*, und nahe der Übergangsstelle, zur Nacht gehörig, ist *Dämmerung*, eine Folge des Vorhandenseins der Atmosphäre.

Die Erde rotiert und im allgemeinen wechseln infolge dessen für einen Ort auf der Erde Tag und Nacht regelmäßig ab. Auf dem Äquator sind Tag und Nacht stets gleich lang, weil für jeden Winkel d . Der Parallelkreis EF wird aber durch die Beleuchtungsgrenze nicht halbiert. Die Bewohner desselben haben längere Zeit Tag als Nacht. Für

AC gelangt die Sonne schon nicht mehr zum Untergange. Nur um Mitternacht, wenn der Bewohner auf AC bei C anlangt, senkt sich die Sonne bis zum Horizont, um sofort wieder emporzusteigen. (AC hat die geogr. Breite $90^\circ - d$.) Die Kalotte zwischen AC und dem Nordpol hat fortwährend Tag, die Sonne ist dort Circumpolargestirn. — Das Entgegengesetzte findet für die Bewohner der südlichen Erdhälfte statt.

Die Bewohner des Parallelkreises JK von der geogr. Breite d haben an diesem Tage die Sonne im Zenith und zwar Mittags, wenn sie bei J vorbeigehen. Für alle Punkte auf der Erde südlich von JK kulminiert die Sonne nördlich vom Zenith; für nördlichere Bewohner dagegen südlich von demselben.

Es sei ein Bewohner der Erde unter der geogr. Breite von 10° . Dort ist die Polhöhe 10° , die Äquatorhöhe 80° . Wäre die Deklination der Sonne 10° , so müßte die Sonne im Zenith kulminieren. Sie kulminiert nördlich von demselben für alle Werte von d größer als 10° . Für $d < +10^\circ$ kulminiert dagegen dort die Sonne südlich (zwei Mal des Jahres im Zenith).

Unter 80° nördlicher Breite ist dagegen die Polhöhe 80° , die Äquatorhöhe 10° . Ist $d < -10^\circ$, so ist die Sonne in der antarktischen Zone, also fortwährend unsichtbar. Wird dagegen $d > -10^\circ$ aber $< +10^\circ$, so ist die Sonne ein auf- und untergehendes Gestirn. Für $d > 10^\circ$ endlich ist sie Circumpolargestirn, gelangt also nicht zum Untergang.

Die Revolution der Erde ist nochmals in Fig. 38 dargestellt. Die Stellung I. der Erde entspricht F in Fig. 35. Die Beleuchtungsgrenze ist ein Meridian, da die Sonne S in der verlängerten Äquatorebene ist. Dieser Moment ist das *Frühlingsäquinoktium*. Die Erdaxe ist senkrecht zum Radius vector. Überall, nur an den Polen nicht, hat man Tageslänge gleich Nachtlänge. — Die Bilder der Erde bei I, II u. s. f. enthalten den Pol, den Äquator, nördlichen Polar- und Wendekreis, sowie die Meridiane von 30 zu 30 Grad.

Bei II bildet die Erdaxe mit dem Radius vector den kleinsten Winkel $90 - e = 66\frac{1}{2}^\circ$ ca. Die Sonne ist am höchsten

nördlich vom Äquator. Auf der nördlichen Erdhälfte hat man den längsten Tag. Dieser Moment ist das *Sommer-solstitium*. Für die nördliche Polarzone gelangt die Sonne nicht zum Untergang, für die Bewohner des nördlichen Wendekreises kommt die Sonne im Zenith zur Kulmination.

Steht die Erde bei III, so hat man neuerdings Tag und Nachtgleiche, speziell das *Herbstäquinoktium*. Von dann ab wird die Deklination der Sonne negativ. Auf der nördlichen Erdhälfte sinkt die Sonne, auf der südlichen steigt sie höher. Das steigert sich, bis die Erde nach IV gelangt, *Winter-solstitium*. Die südliche Erdhälfte hat den längsten Tag und

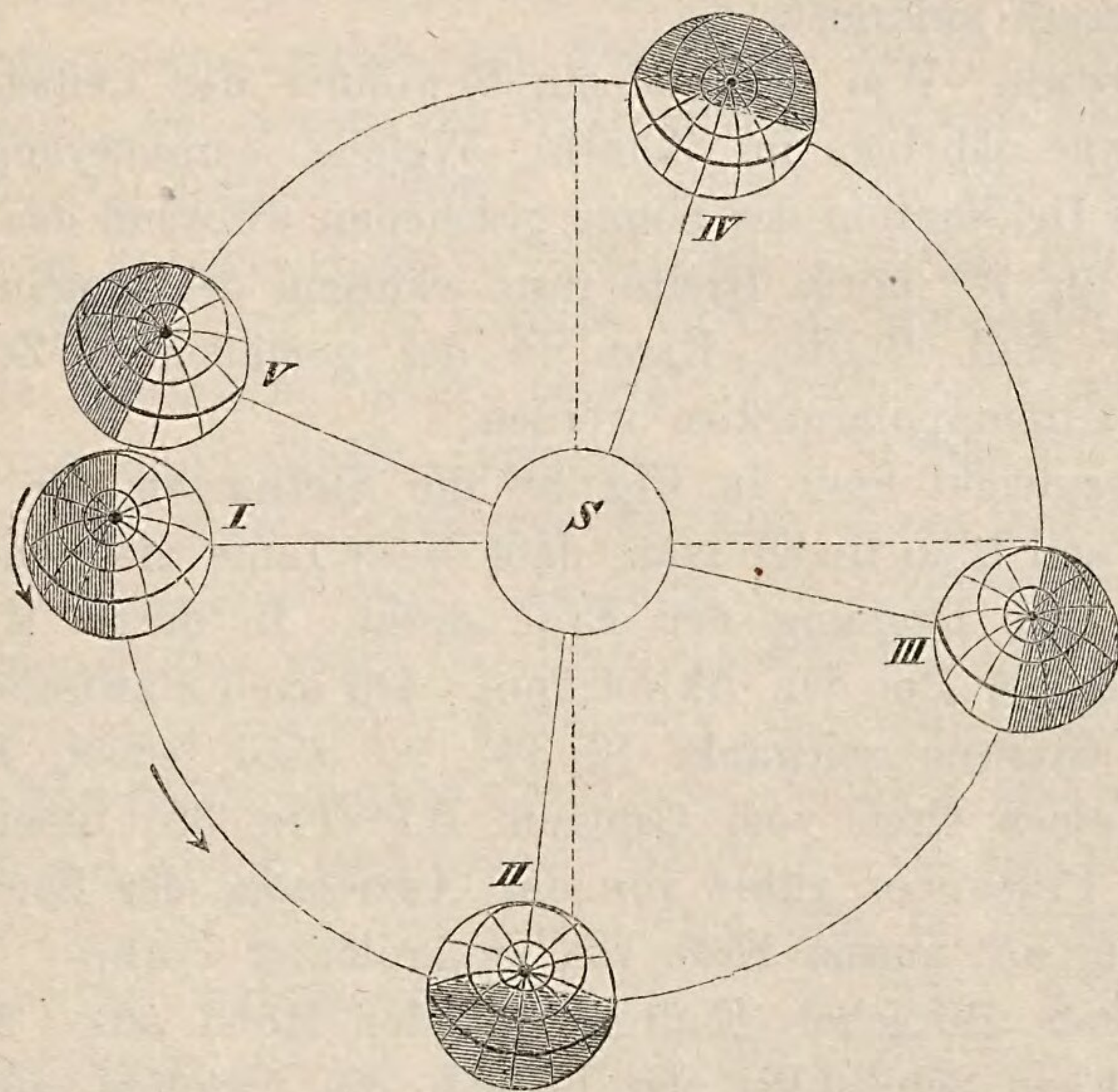


Fig. 38.

die Bewohner der nördlichen Polarzone die Mitte der langen Nacht. — Der Winkel der Erdaxe mit dem Radius vector ist ein Maximum, nämlich $90^\circ + e$.

Die Stellung V ist das nächste *Frühlingsäquinoktium*. Das *tropische Jahr* ist abgelaufen. Die Sonne ist wieder im Äquator. Ginge die Erde weiter bis nach I, so wäre ein siderisches Jahr vorbei. — Der Winkel, gebildet durch die Leitstrahlen für V und I, heißt *Präcession* und beträgt $50'',2$. Die Strecke von V nach I wird in ca. $20^m 4$ durch-

laufen. (Unterschied des siderischen und tropischen Jahres, und der Bogen VI ist gleich $5\frac{1}{2}$ Erdradien.)

Die Präcession ist das Vorrücken des γ Punktes in der Ekliptik von Ost nach West und hat ohne Zweifel ihre Ursache in der Drehung der Erdaxe, wobei die Schiefe der Ekliptik als konstant gedacht ist. Wendet man das auf Fig. 35 an, so erkennt man, daß der Pol P nicht unbeweglich ist. In jener Figur rückt der γ Punkt von Jahr zu Jahr nach 1, 2, 3 ... (Der Äquator „senkt sich“ auf jener Seite im Vergleich zur Ekliptik.) In 26000 Jahren hätte der γ Punkt die ganze Ekliptik durchlaufen und damit den Pol P den Ekliptikpol umkreist.

Fragen. Wie oft hat ein Bewohner der heißen Zone die Sonne jährlich im Zenith. Welche Veränderung muß mit der Deklination der Sonne geschehen während des langen Tages für 70° nördl. Breite resp. während der langen Nacht für 70° südl. Breite. Kann in der gemäßigten Zone die Sonne Circumpolargestirn werden.

Vergleicht man in Fig. 38 die Stellungen der Erdaxe bei V und I, so findet man, daß diese Linie sich entgegengesetzt der Drehung der Erde dreht. In dieser Richtung umkreist der Pol den Ekliptikpol. Da auch e zwischen zwei nahen Grenzen schwankt (§ 34), so wird jedoch P nicht genau einen Kreis vom Centrum EP (Fig. 35) beschreiben. — Die Präcession rührt von der Anziehung der Sonne her, ausgeübt auf unsere Erde von sphäroidaler Form.

Einen ähnlichen Einfluß übt der Mond aus. Auch er bewirkt ein Schwanken der Erdaxe, die *Nutation*, also auch ein Schwanken des Pols P . Sie ist an eine Periode von 18,6 Jahren gebunden, und abgesehen von der Präcession würde in dieser Zeit P am Himmel eine Ellipse beschreiben mit den Axen $18'',4$ und $13'',7$ (s. § 46). — Wenn nun aber die Erdaxe unter dem Einfluß des Mondes auf die Erde sich in angegebener Weise dreht, so bedingt das ebensowohl eine periodische Veränderung von der Präcession, als auch der Schiefe e der Ekliptik.

VIII.

Der Mond.

§ 44. Der *Mond* ist das der Erde nahesten Gestirn, kann deshalb verhältnismässig deutlich gesehen werden. Man erkennt auf ihm, zum Theil mit blossen Auge, hellere und dunklere Stellen, die ganz unverkennbar Berge und ihre Schatten, Thäler und grosse Ebenen (Meere genannt) sind. Aus der Schattenlänge hat man die Höhen der höchsten Berge nahe gleich der des Montblanc gefunden.

Neben der gewöhnlichen Form der Gebirge finden sich *Ringgebirge*, bei denen ein Wall eine Hochebene oder eine kegelförmige Mulde eingrenzt. Diese Gebirge sind zweifellos erloschene Vulkane (Anzahl ca. 50 000). — Einige Beobachter wollen in neuester Zeit thätige Vulkane beobachtet haben.

Die *Rillen* sind lange, schmale Streifen, die sich über Berge und durch Thäler fortsetzen. Sie mögen in der Zusammenziehung der Mondkruste ihre Entstehung haben (§ 58).

Aus dem plötzlichen Übergang von Licht zu Schatten, resp. dem Fehlen einer Dämmerung, schliesst man auf das Nichtvorhandensein einer merkbaren Atmosphäre, also auch auf das Nichtvorhandensein von Wasser. Somit werden auch auf dem Monde solche Organismen fehlen, wie sie auf der Erde vorkommen. — Nur ein Beobachter will in neuerer Zeit Nebelbildung wahrgenommen haben. Darnach wäre doch einiges Wasser auf der Mondoberfläche vorhanden.

§ 45. *Grösse und Entfernung des Mondes.* Die *scheinbare* Grösse des Mondradius ist $936''$. Indessen erscheint der Mond bald gröfser, bald kleiner. Der Radius schwankt zwischen $987'',7 = 16' 27'',7$ und $885'',0 = 14' 45'',0$ (für die Sonne zwischen $16' 18''$ und $15' 46''$). Somit kann die Mondscheibe gröfser, kleiner oder gleich sein der der Sonne.

Die *Entfernung* des Mondes kann nach Fig. 39 etwa dadurch bestimmt werden, dafs man an zwei Orten *A* und *B* auf demselben Erdmeridian die Zenithdistanzen *a*, *b* des Mondmittelpunktes misst. Dadurch kennt man im Viereck

$EABM$ im Ganzen fünf Stücke, kann somit die Entfernung EM berechnen. Man fand 60,273 Erdradien; eigentlich

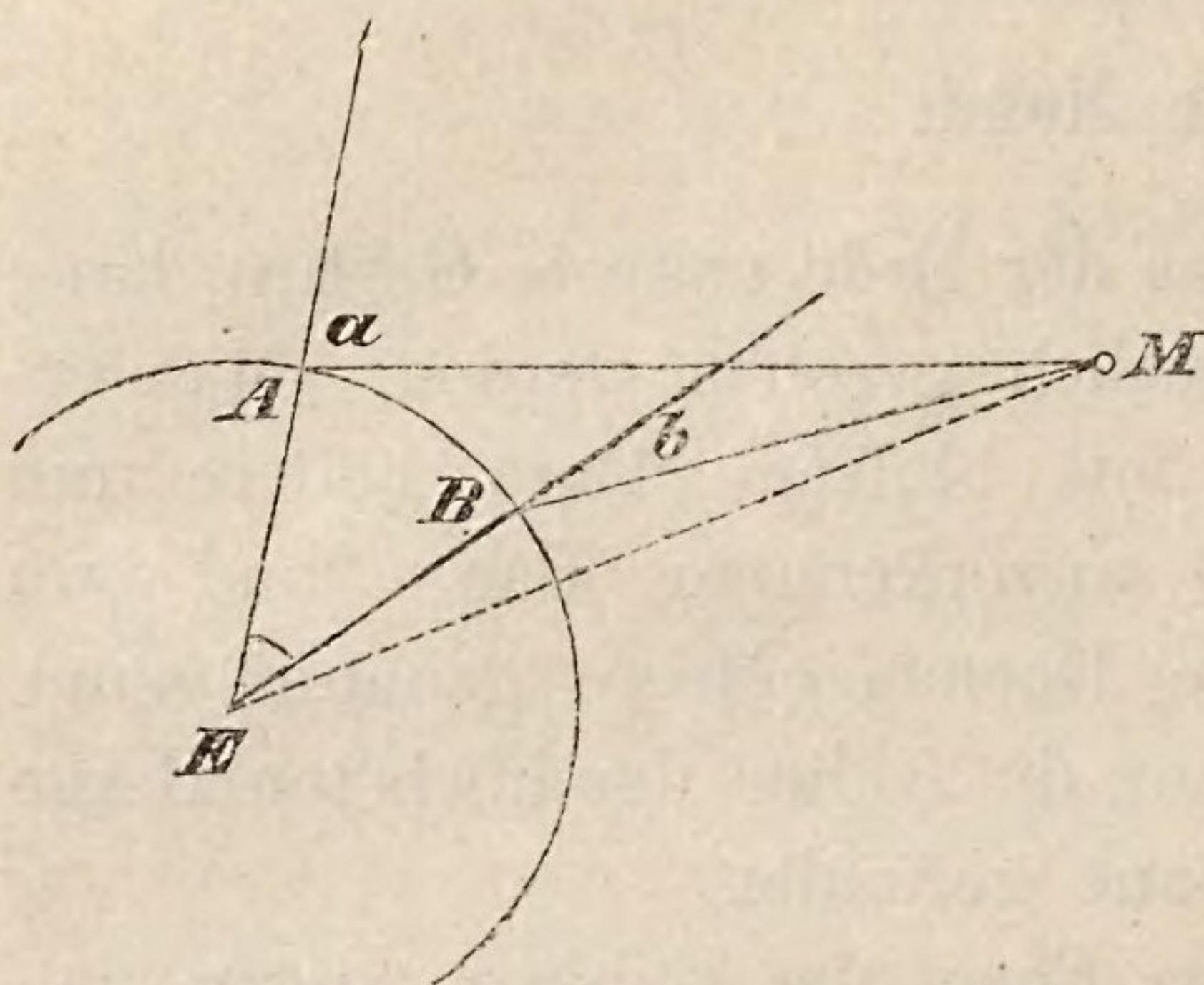


Fig. 39.

§ 46. Aus den Beobachtungen über die Bewegung des Mondes geht hervor, daß seine *Bahn um die Erde* eine Ellipse ist, mit der Erde in einem ihrer Brennpunkte und von der numerischen Excentrizität 0,05484. In Fig. 40 ist bei *S* die Sonne, *AEB* ist die Erdbahn, in welcher sich die

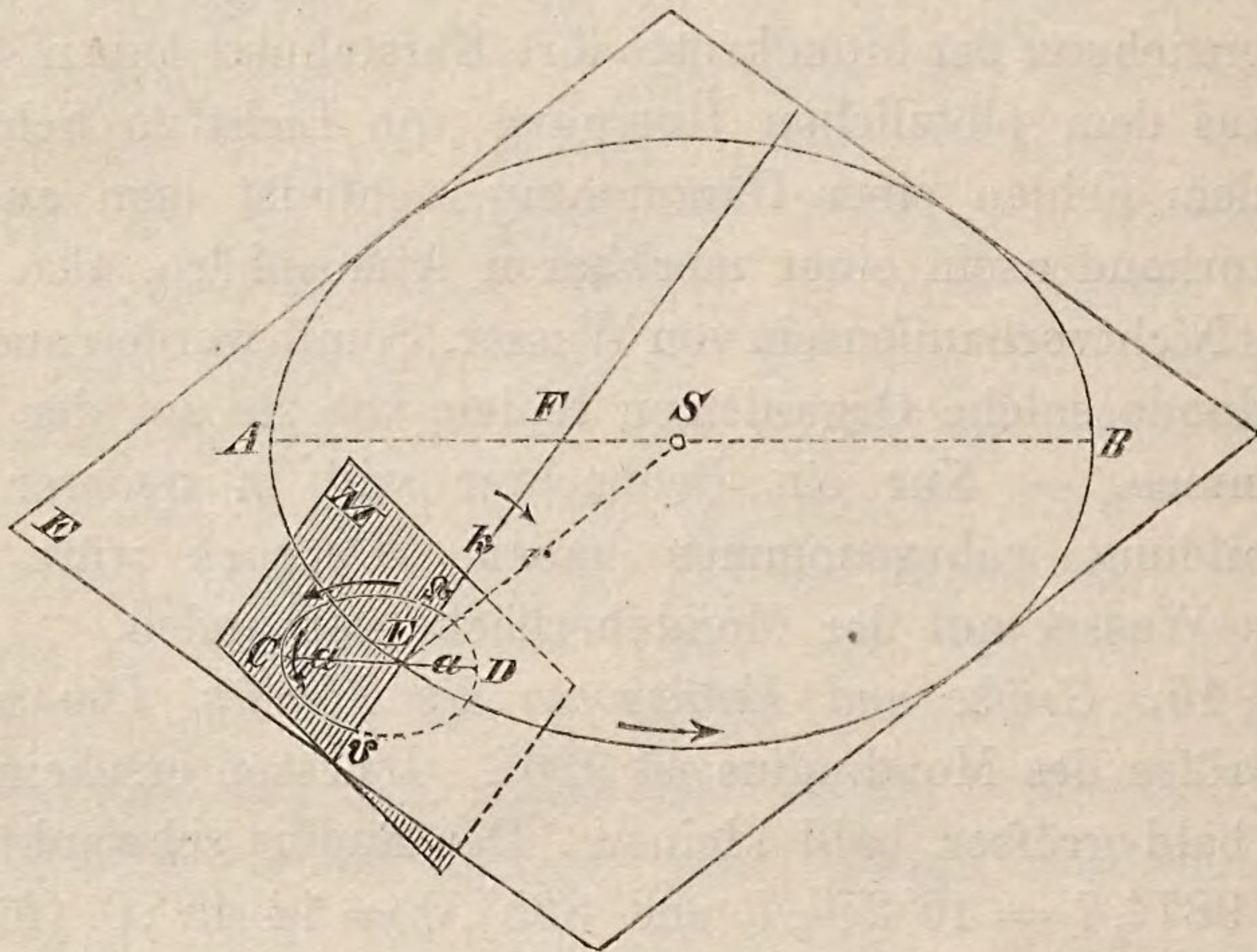


Fig 40.

Erde E von Ost nach West im Sinne des angegebenen Pfeiles bewegt. Die Ebene E ist die der Ekliptik, M die Ebene der Mondbahn. Die Linie a ist die grofse Axe der Mondbahn, E ist der eine Brennpunkt der Ellipse. Für die Erde

ist r der Radius vector; k ist die Schnittlinie der Ebenen E und M und heißt *Knotenlinie*.

Gelangt der Mond bei seiner Bewegung (im Sinne des Pfeiles zwischen Ω und C) nach C oder D , so ist er bezüglich in *Erdferne* (Apogäum), *Erdnähe* (Perigäum); C und D sind die Apsidenpunkte. Bei Ω = *aufsteigender Knoten* geht er von unten nach oben, bei φ = *absteigender Knoten* von oben nach unten durch die Ekliptik.

Die Ebene der Mondbahn bildet mit der Ekliptik einen Winkel von $5^{\circ} 9'$. Somit bleibt, von der Erde aus gesehen, der Mond immer nahe bei der Ekliptik. Die Sonne, die immer in der Ekliptik ist, hat eine Deklinationsschwankung von $2e = 47^{\circ}$ ca. Für den Mond kommt eine weitere Schwankung von $\pm 5^{\circ} 9'$ hinzu, so daß seine Deklinationsschwankung ca. 57° beträgt. — Bekanntlich sieht man nun im Winter den Mond in bedeutender Höhe kulminieren, im Sommer dagegen in geringer. Das ergibt sich aus dem vorigen unmittelbar. Denn da am 21. December die Sonne $23\frac{1}{2}^{\circ}$ unter dem Äquator kulminiert, so muß zur Zeit der darauffolgenden Mitternacht der Teil der Ekliptik kulminieren, der $23\frac{1}{2}^{\circ}$ über dem Äquator ist (infolge der täglichen Bewegung). Der Mond kann dann noch $5^{\circ} 9'$ höher stehen und das ist der höchstmögliche Stand, der natürlich für Daten nahe 21. XII auch nahe Mitternacht eintreten kann. Eine analoge Betrachtung läßt sich für die Zeit um das Sommersolstitium anstellen.

Gehen wir wieder auf Fig. 40 zurück. Die Knotenlinie k dreht sich im Sinne des bei k angegebenen Pfeiles, also dem Monde entgegen. Die Drehung um 180° geschieht je in 18,6 Jahren, so daß sich diese Linie im Laufe jedes Jahres um $9^{\circ},7$ dreht. Somit geht der Mond nicht jedesmal an derselben Stelle durch die Ekliptik, sondern es rücken die Knoten fortwährend nach Westen. — Würde in Fig. 40 die Erde noch ein wenig in ihrer Bahn vorrücken, so fällt k mit r einen Moment zusammen und nach etwas weniger als $\frac{1}{2}$ Jahr würde dasselbe je wieder stattfinden. Diese Lagen sind für die bald zu behandelnden Finsternisse sehr wichtig.

Die Zeit, die der Mond gebraucht, um je wieder zum

selben Knoten (Ω oder ϑ = „Drachenköpfe“) zu gelangen, heißt *Drachenmonat* oder die *tropische Umlaufszeit*. Sie ist $27^d 7^h 43^m 4^s,7$, also kürzer als die Zeit des vollen Umganges, welche $27^d 7^h 43^m 11^s,5$ beträgt und *siderischer Monat* oder *siderische Umlaufszeit* genannt wird. Nach letzterer Zeit wird je die Rektascension resp. die Lage des Mondes zu den Fixsternen wieder dieselbe.

Die Apsidenlinie a dreht sich mit dem Monde, siehe Pfeil bei C . Die Zeit der Rückkehr bis zum selben Apsidenpunkt ist $27^d 13^h 18^m 37^s,4$ und heißt der *anomalistische Monat*.

Diese Umlaufszeiten sind in mittleren Sonnentagen verstanden. Im übrigen bewegt sich der Mond in seiner Bahn nicht immer gleich rasch, daher sind diese Umlaufszeiten nicht konstant (ausgenommen die siderische) und oben sind überall die Mittel angegeben.

Der Mond wendet der Erde immer dieselbe Seite zu. Während er also die Erde umkreist (siderischer Monat), dreht er sich auch genau einmal um seine Axe. Da auch er, wie die Erde hauptsächlich von der Sonne beleuchtet wird, so wechseln bei ihm Tag und Nacht je in $13\frac{1}{2}$ mittleren Sonnentagen ab.

Der Mond wird nicht immer als vollbeleuchtete Scheibe am Himmel gesehen, sondern er erscheint in *Phasen* (Lichtgestalten). Hierüber giebt Fig. 41 Aufschluß. Bei E ist die Erde; a, b, c, d sind die Hauptstellungen des Mondes

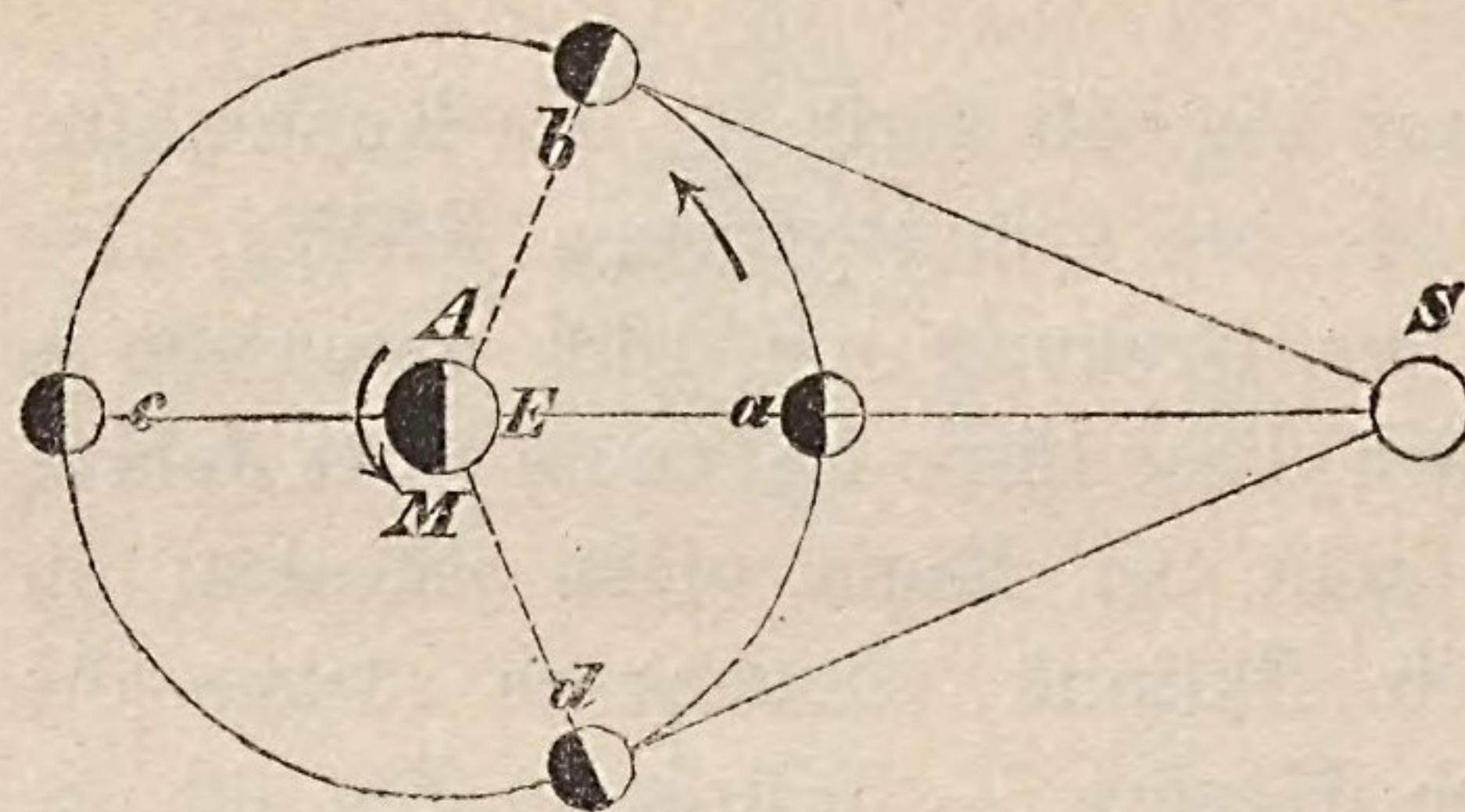


Fig. 41.

mit Bezug auf Erde und Sonne. Letztere befindet sich bei S (ca. 387 mal so weit weg wie der Mond). Ist der Mond bei a vor der Sonne, genau gesagt um den Betrag der Breite über ihr, so kann er von der

Erde aus nicht gesehen werden, da er ihr die dunkle Seite zuwendet. Diese Stellung heißt *Neumond* oder *Konjunktion*. Ist der Mond bei b , $89^{\circ}50'$ östlich von der Sonne (in Länge, s. §. 34), so hat man *erstes Viertel* oder *östliche Quadratur*.

Bei c ist der Mond als *Vollmond* in *Opposition*. Dann ist er 180° von der Sonne entfernt, geht also auf, wenn diese untergeht u. s. f. Ist endlich die Länge $270^\circ 10'$ östlich $= 89^\circ 50'$ westlich, so ist der Mond bei d im *letzten Viertel* $=$ *westliche Quadratur*.

In Fig. 41 sieht man die Sonne in der Richtung ES , zur Rechten ist West. Indem die Erde sich in dem bei A angegebenen Sinne dreht, geht für A die Sonne unter, für M auf. Ist dann der Mond z. B. im ersten Viertel, so erscheint die Phase nach rechts, Westen, gebogen ($\mathcal{D}$). Beim letzten Viertel sieht man den Mond vor Sonnenaufgang, die Phase nach links, Osten, gebogen ($\mathcal{C}$). — Im Laufe des synodischen Monats verändert sich im übrigen die Phase kontinuierlich. Die Zeit bis zur Rückkehr derselben Phase ist im Mittel $29^d 12^h 44^m 2^s,9$ und heisst *synodische Umlaufszeit*.

§ 47. *Berechnung von Ostern, Ostergrenzen.* Um für ein Jahr in diesem Jahrhundert, dessen vollständige Jahreszahl n sein soll, Ostern zu finden, bildet man die Divisionen $\frac{n}{19}, \frac{n}{4}, \frac{n}{7}, \frac{19a + 23}{30}, \frac{2b + 4c + 6d + 4}{7}$ und bezeichnet die entstehenden Reste mit a, b, c, d, e . Alsdann ist Ostern am $(22 + d + e)$ März oder am $(d + e - 9)$ April.

Wäre nun am 20/III. Äquinoktium, zugleich Freitag, den folgenden Tag Vollmond, so wäre Ostern (s. § 37) am 22/III. und auf ein früheres Datum kann Ostern nicht fallen. — Wäre aber am 20/III. Vollmond und im selben Jahr das Äquinoktium am 21/III., so würde der erste Vollmond nach dem Äquinoktium 29 Tage später als 20/III. sein, also am 18/IV. Wäre dann zugleich Sonntag, so würde erst eine Woche später, also am 25/IV. Ostern sein. — Diese Daten 22/III. und 25/IV. sind die Ostergrenzen und zeigen, daß für das Osterfest und für die daraus abgeleiteten Feste ein Schwanken von 34 Tagen stattfindet.

§ 48. Die *Zeiteinteilung nach dem Mond* wurde bei vielen Völkern aus religiösen Gründen eingeführt. So z. B. führten die Chinesen neben 125 vollen Monaten à 30 Tagen 110 leere Monate à 29^d ein. Somit haben die $125 + 110 = 235$ Monate eines Cyklus zusammen $125 \times 30 + 110 \times 29 = 6940$

Tage. Ein Monat hat daher im Durchschnitt $\frac{6940}{235} = 29^d, 532$ (anstatt $29^d, 5306 = \text{synodischer Monat}$).

Anderseits hatten sie 12 *gemeine Jahre* à 12 und 7 *Schaltjahre* à 13 Monate. Ein solcher Cyklus von 19 Jahren (mit $12 \times 12 + 7 \times 13 = 235$ Monaten) hat also auch 6940 Tage und somit das Jahr im Mittel $\frac{6940}{19} = 365^d, 263$. Letztere Zahl stimmt nahezu mit der Dauer des tropischen Jahres überein; die Abweichung bewirkt, daß je in ca. 17 380 Jahren der Jahresanfang alle Jahreszeiten durchläuft.

§ 49. *Ebbe und Flut*. Trotz seiner geringen Gröfse übt der Mond auf die Erde verschiedene sehr bemerkbare Einflüsse aus. Er wirkt auf die Erde als Ganzes (Nutation), ferner aber noch besonders auf die Meere (der Einfluß auf die Atmosphäre ist sozusagen Null).

Der Mond zieht den Teil der Erde am stärksten an, der ihm am nächsten liegt. Am entgegengesetzten Teil der Erde ist die Anziehung am geringsten. Denkt man sich die ganze Erde mit Wasser umgeben, so würde dessen Oberfläche an den Endpunkten des nach dem Monde gehenden Durchmessers steigen und zur Ausgleichung in dem von beiden Punkten gleichweit abstehenden Großkreise fallen. — Der Punkt in dessen Zenith der Mond ist, wird am stärksten angezogen, daher Erheben des Wassers an jener Stelle. Beim Erdmittelpunkte wäre die Anziehung eine mittlere, beim Gegenpunkte des erstgenannten Punktes ist die Anziehung des Mondes am schwächsten, der Druck im Wasser also am geringsten, somit ist auch dort ein Centrum des Zusammen-

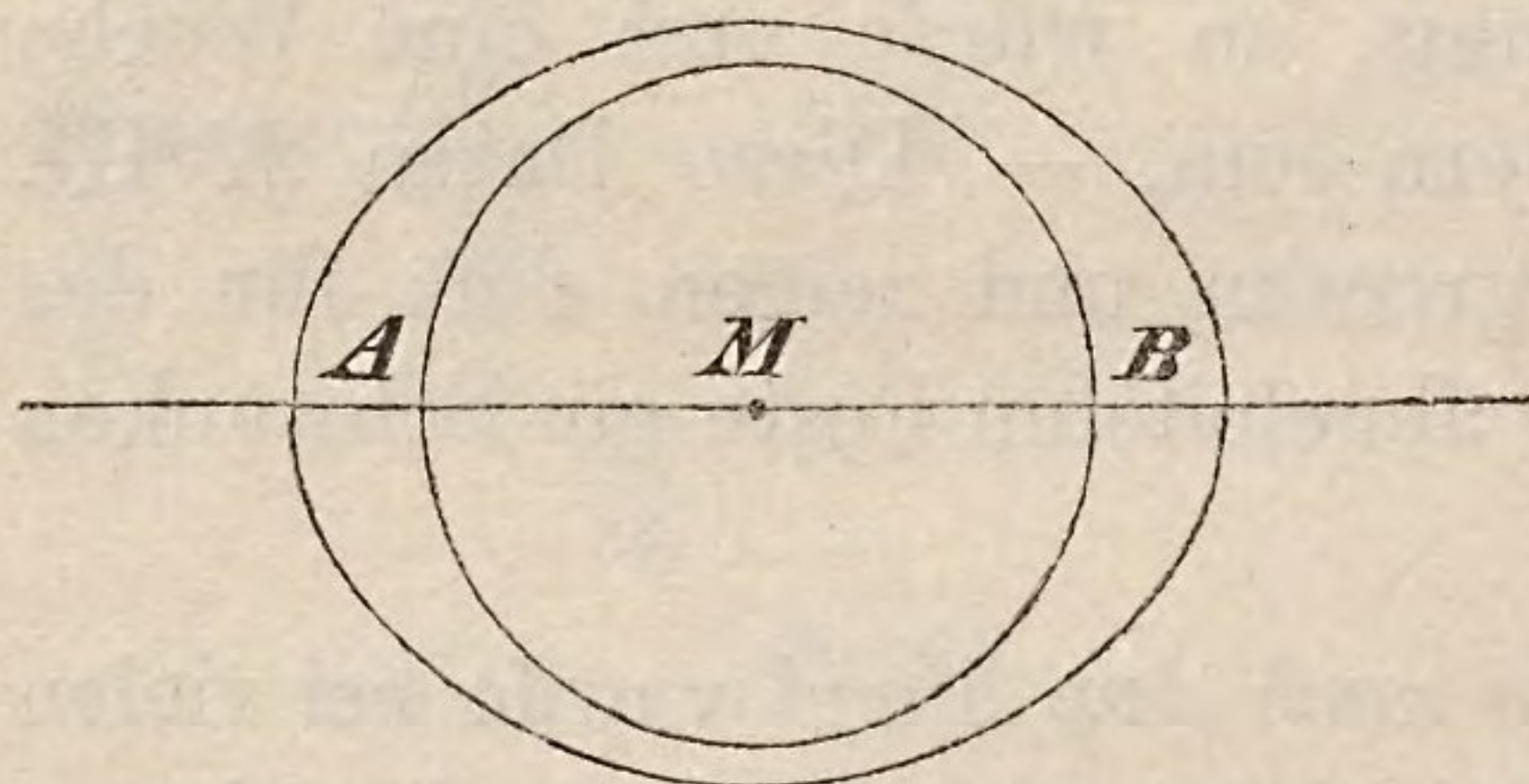


Fig. 42.

fließens und damit der Erhebung. Die Oberfläche des Wassers nimmt annähernd die Form eines Sphäroids an, dessen große Axe AB (die Rotationsaxe für Fig. 42) nach dem

Mondmittelpunkte geht. Da die Erde rotirt, so ist dieses Sphäroid für einen Beobachter auf der Erde in Bewegung; es folgt der Bewegung des Mondes von Ost nach West. Dadurch

wird jeden Montag an jedem Orte der Erde zweimal Flut und zweimal Ebbe entstehen. Ihre Gröfse hängt ab von der Verteilung von Ocean und Festland, ferner von Monddeklin- nation und Mond- d i s t a n z.

Den Unterschied der Meereshöhen zur Zeit der Flut und Ebbe nennt man *Fluthöhe*. Auf dem mittelländischen Meere ist sie unmerklich, bei St. Malo gegen 12 Meter.

Die Sonne übt denselben Einfluß aus, nur in geringerem Mafse. Die beiden Wirkungen verstärken sich bei Neumond und Vollmond; dagegen wirken sie zur Zeit der Quadraturen einander entgegen.

Die Zeit von einer Kulmination des Mondes bis zur nächsten ist im Mittel $24^h 50^m$, somit folgen sich die Fluten je in $12^h 25^m$. Nahezu mitten zwischen ihnen finden die Ebben statt, indessen gebraucht an den meisten Orten das Meer längere Zeit zum Steigen als zum Sinken. Ferner findet die Flut nicht genau im Momente der Mondkulmination statt, sondern später. Denn das Wasser gebraucht Zeit, um auf die durch Gravitation von Mond und Sonne bedingte Höhe zu steigen. Diese sog. *Hafenzeit* hängt für die See- häfen namentlich von der Uferbeschaffenheit ab und beträgt für Cuxhaven, Hamburg, Themsemündung bezüglich 40^m , $5^h 0^m$, $11^h 45^m$. Der zuletzt angeführte Wert ist einer der grössten, die überhaupt vorkommen. Diese Zahlen zeigen, wie sehr verschieden die Verspätungen oft für naheliegende Häfen sind.

§ 50. *Finsternisse*. Die Sonne beleuchtet die Erde und gleichzeitig entsteht hinter letzterer ein Raum, in den kein

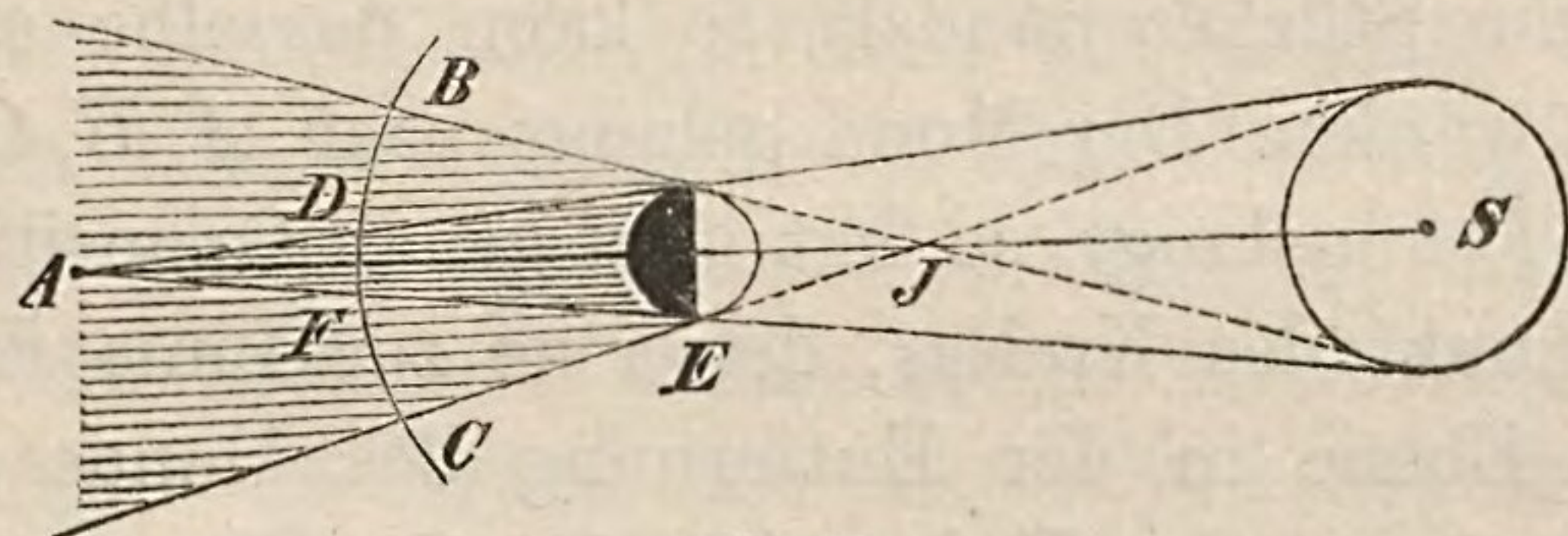


Fig. 43.

Sonnenlicht dringt. Da die Sonne von beiden Kugeln die grössere ist, so ist dieser Raum ein hinter der Erde ge- schlossener Kegel, wie Fig. 43 zeigt. Der *Kernschattenkegel* *DAF* hat die Spitze in *A*, welcher Punkt notwendig genau

in der Ebene der Ekliptik liegt. Außerdem kommt der Kegel BJC mit der (gedachten) Spitze J als *Halbschattenkegel* vor. Befindet sich ein Punkt im ersteren Kegel, so ist ihm durch die Erde das Sonnenlicht gänzlich entzogen. Für einen Punkt hinter der Erde, der im zweiten Kegel liegt, verdeckt die Erde nur einen Teil der Sonne.

Wenn nun der Mond bei seiner Bewegung um die Erde bei $BDFC$ hindurchgeht, so findet eine *Mondfinsternis* statt. Tritt der Mond bei B in den Halbschatten ein, so verfinstert sich sein östlicher Rand, nach und nach der ganze Mond. Ist er zwischen D und F , so hat man anstatt Vollmond gänzliche Verfinsterung.

Man erkennt hieraus, daß eine Mondfinsternis nur zur Zeit des Vollmondes (der Opposition) stattfinden kann. Als-

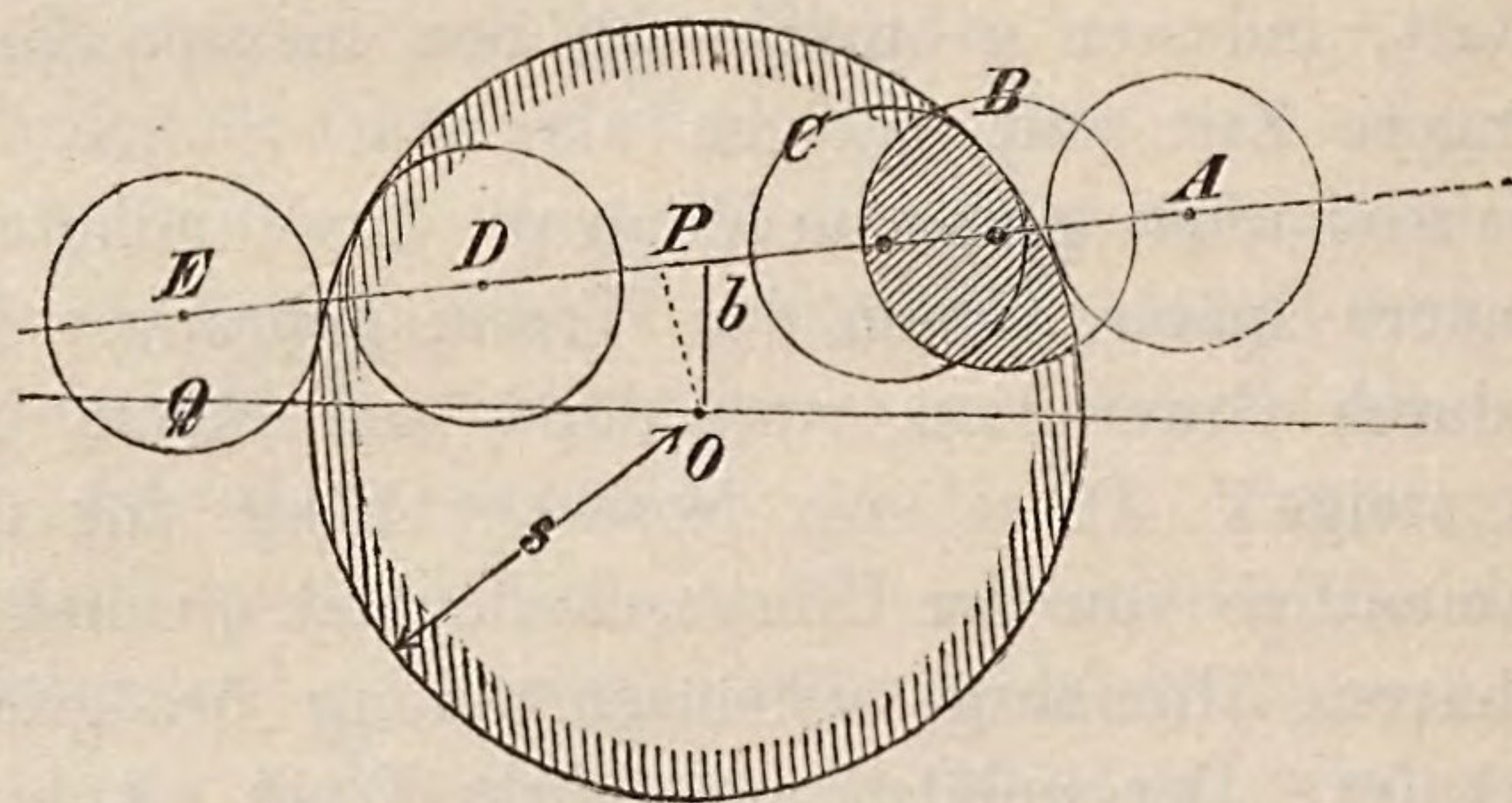


Fig. 44.

dann giebt aber Fig. 44 ein Bild vom Verlaufe der Finsternis und zugleich eine Einsicht in die Vorausbestimmung der Zeit zu welcher sie statthat. — Die Linie OQ stellt einen Teil der Ekliptik dar. Da es sich hier um die Darstellung eines kleinen Stückes handelt, so kann dasselbe als Gerade gezeichnet werden. Der Mond gelangt nach A, B, C, P, D, E . Ist er bei P angekommen, so hat man genau Opposition. O ist der Mittelpunkt des Kreises, den eine zur Linie Erde-Sonne senkrechte Ebene in der Entfernung des Mondes aus dem Kernschattenkegel der Erde schneidet (in Fig. 43 der Kreis vom Durchmesser DF).

Von der Erde aus sieht man den Mond in der Stellung bei A den Schatten berühren. Der Mond ist noch ganz im Halbschatten der Erde und noch ist keinem seiner Punkte

das Sonnenlicht gänzlich entzogen und man spricht deshalb auch noch nicht von einer Verfinsterung.

Ist der Mond bis in die Lage *B* vorgerückt, so ist schon ein großer Teil seiner Scheibe gänzlich verfinstert, man bemerkt die *partiale Finsternis*. — Bei *C* ist der Anfang der *totalen*, bei *D* deren Ende. Nun tritt der Mond aus dem Schattenraume, man hat nochmals *partiale Finsternis*, welche endigt, wenn der Mond nach *E* gelangt.

Die Mitte zwischen *A* und *E* ist zugleich die zwischen *C* und *D*. Der Mondmittelpunkt ist in jenem Moment im Fußpunkte des von *O* auf die Mondbahn gefällten Lotes.

Eine Mondfinsternis kann höchstens $4\frac{1}{2}$ Stunden dauern und es fällt alsdann etwa die Hälfte auf die totale.

Da die Erde von West nach Ost um die Sonne geht, so bewegt sich auch ihr Schatten in dieser Richtung. Der Mond bewegt sich ebenfalls in dieser Richtung, aber schneller (ca. $12\frac{1}{2}$ mal, da das Jahr ca. $12\frac{1}{2}$ Monate hat). Um in Fig. 44 den Kreis, der den geschnittenen Erdschatten darstellt, als fest betrachten zu können, giebt man einfach dem Monde als Bewegung die Differenz der beiden genannten.

Aus Fig. 44 geht weiterhin hervor, daß die Entfernung *b* des Mondes von der Ekliptik zur Zeit der Opposition eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, damit noch eine Finsternis entsteht. Da *AP* mit *OQ* einen kleinen Winkel bildet (unter 6°), so darf *b* die Summe aus *s* und Mondradius nur um sehr wenig übersteigen. Es muß somit Vollmond nahe zu der Zeit stattfinden, in welcher der Mond durch einen Knoten geht. Mit Bezug auf Fig. 40 ergibt sich hieraus, daß dann die Knotenlinie *k* nahezu mit *r* zusammenfallen muß, was je nach nahe $\frac{1}{2}$ Jahr sich wiederholt.

Fragen. Nimmt man den Erdradius als Längeneinheit an, so ist der Radius der Sonne 108,5, des Mondes 0,273, die Entfernungen von Sonne und Mond von der Erde 23 380 und 60,273. Wie groß ist für jenen Moment die Länge des von der Erde geworfenen Schattenkegels. Welchen Radius hat der senkrechte Querschnitt des Kegels in der Entfernung des Mondes.

Der Mond veranlaßt ebenfalls einen Schattenkegel. Nun

ist der Mond bei seiner Konjunktion um den Betrag der Breite über der Sonne, mit Bezug auf die Ekliptik. Ist diese Breite gering, also der Mond nahe beim Knoten, so vermag er uns die Sonne zum Teil oder ganz zu verdecken, er erzeugt eine *partiale* oder eine *totale Sonnenfinsternis*. Ist in diesem Momente die Mondscheibe kleiner als die der Sonne, was nach § 45 möglich ist, und werden diesfalls beide Scheiben nahezu konzentrisch, so kann eine *ringförmige Sonnenfinsternis* eintreten.

Über den Verlauf der Finsternis giebt Fig. 45 einigen Aufschluß. Die Sonne S erzeugt am Mond M den Schattenkegel $AFGC$. Ein Beobachter auf der Erde bei H sieht von der Sonne nur ein Stück JB , für ihn findet eine *partiale*

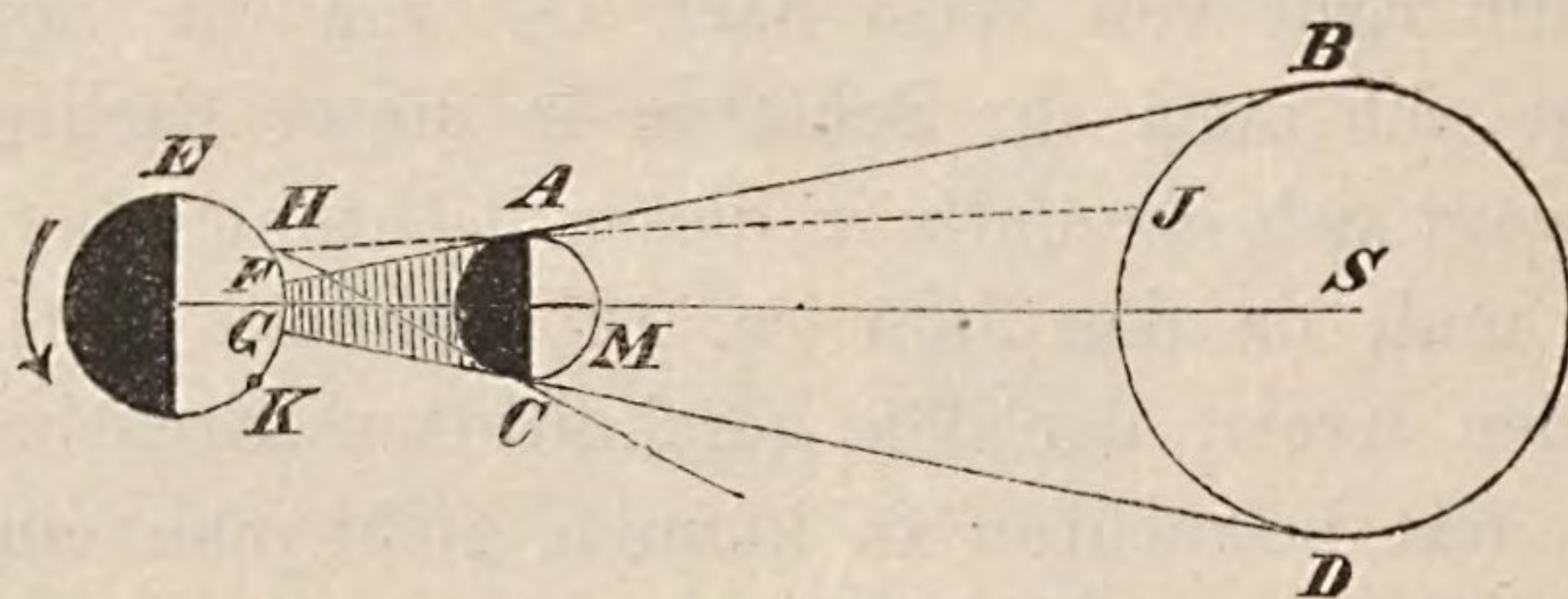


Fig. 45.

Finsternis statt. Die Bewohner zwischen F und G haben totale Finsternis und sehen außerhalb des Mondes von der Sonne nur deren Atmosphäre, die Corona, sowie die Protuberanzen.

In Fig. 45 trifft der Mondschattenkegel die Erde noch. Wäre das nicht der Fall, d. h. würde von der Erde aus gesehen der Mond kleiner als die Sonne erscheinen, so könnte eine totale Finsternis nicht mehr eintreten (Fig. 45, a).

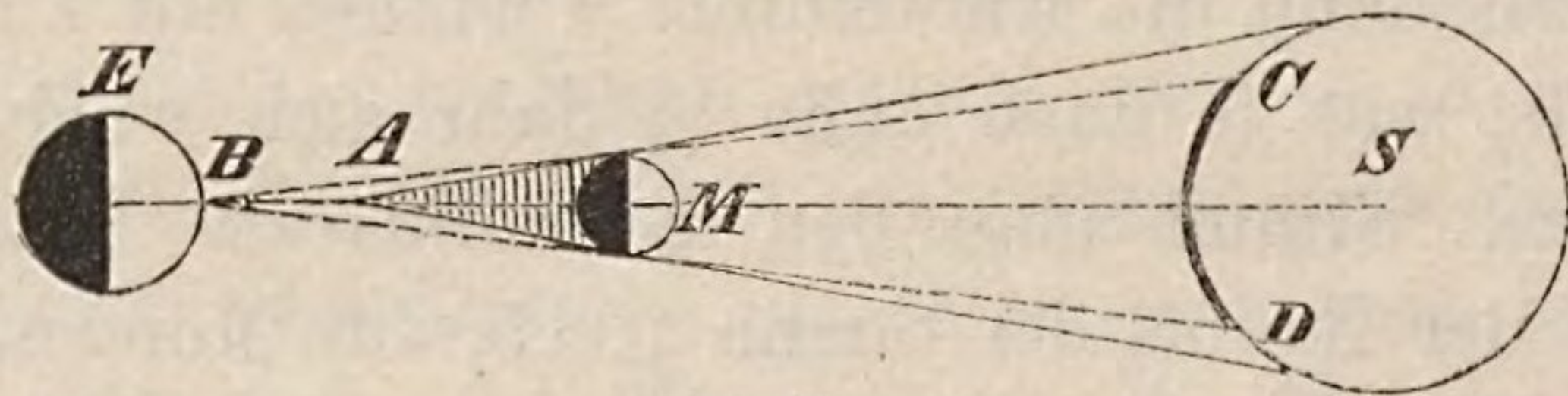


Fig. 45 a.

Weil die Erde rotirt, so wird der Punkt K nach G , F , H gelangen. Da außerdem das Stück FG entweder klein ist, oder gar nicht vorhanden, so fängt für einen Ort auf der Erde die Finsternis mit einer *partialen* an und schließt mit einer *ebensolchen*. In der Mitte ist totale oder ringförmige

oder auch partiale. Dabei sind totale und ringförmige stets von kurzer Dauer, nämlich im Maximum 8 Minuten. Für die ganze Erde zusammen ist die längste Dauer einer Sonnenfinsternis $4\frac{1}{2}$ Stunden.

Da auch der Halbschatten des Mondes niemals die ganze Erde zu verdecken vermag, so wird eine Sonnenfinsternis nur je in einer gewissen Zone der Erde sichtbar sein und es sind deshalb die Verfinsterungen der Sonne für einen bestimmten Ort auf der Erde viel seltener, als die des Mondes.

In Fig. 46 ist der Moment zur Anschauung gebracht, in welchem die Knotenlinie der Mondbahn m durch die Sonne S geht, e ist die Erdbahn. Ist der Mond bei Ω so findet eine Sonnenfinsternis statt. Nach $\frac{1}{2}$ Monat ist der Mond bei ϑ angelangt, die Knotenlinie hat sich unterdessen nur sehr wenig gedreht und es kann bei dieser Opposition eine Mondfinsternis eintreten. So z. B. hat man am 1/XII. 1880 eine Sonnen-, am 16/XII. 1880 eine Mond- und am 31/XII. 1880 wieder eine Sonnenfinsternis.

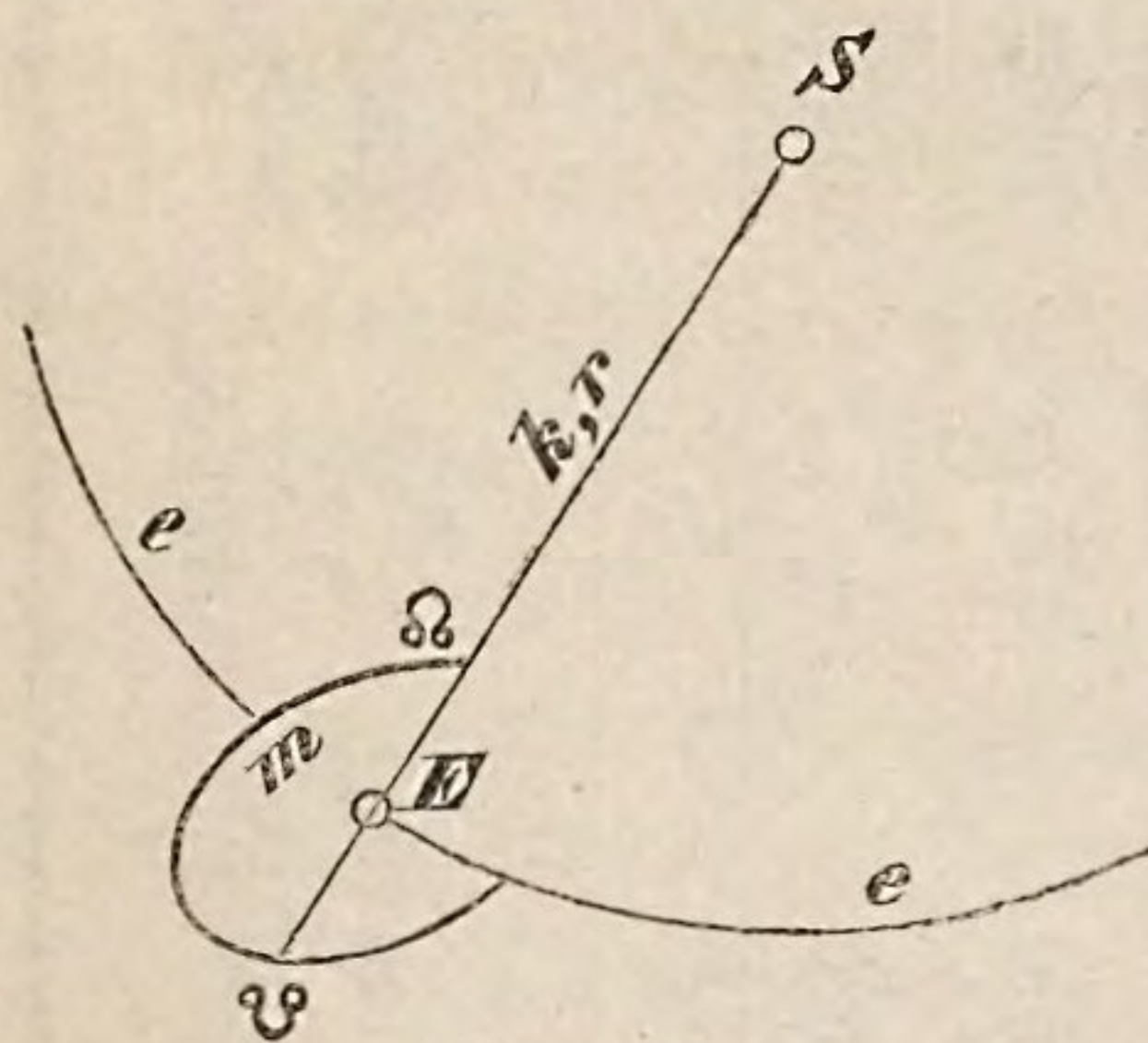


Fig. 46.

IX.

Die Planeten und die übrigen Körper des Sonnensystems.

§ 51. Die *Planeten* oder *Wandelsterne* kreisen wie die Erde unter Befolgung der Kepler'schen Gesetze um die Sonne. Sie sind

Merkur ☿, Venus ♀, (Erde ♂),
Mars ♂, Planetoiden, Jupiter ♃,
Saturn ♄, Uranus ♅, Neptun ♆.

Diese Reihenfolge ist zugleich die der wachsenden Entfernung von der Sonne. — Von ihnen haben mehrere wiederum *Monde* oder *Trabanten*. — Die Ebenen, in denen sich die Planeten um die Sonne bewegen, fallen nahezu mit der Ebene der Ekliptik zusammen.

Planet	Dauer der siderischen Revolution	Mittlerer Sonnenabstand	Excentricität	Neigung der Bahn	Wirklicher Durchmesser	Masse	Dichte	Rotationsdauer der mittleren Sonnenzeit	Zahl der Trabanten	Synodisches Jahr
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
☿	88 ^d	0,387	0,206	7° 0'	0,387	0,075	1,376	^d 0 ^h 24 ^m 5	0	^a 0 ^d 116
♀	225 ^d	0,723	0,007	3° 24'	0,945	0,787	0,905	0 23 21	0	1 219
♂	365 ^d , 25637	1	0,017	0	1	1	1	0 23 56	1	—
♂	1 ^a 322 ^d	1,524	0,093	1° 51'	0,540	0,109	0,714	0 24 37	2	2 49
♂	11 ^a 314 ^d	5,203	0,048	1° 19'	11,160	309,028	0,236	0 9 55	4	1 34
♂	29 ^a 166 ^d	9,540	0,056	2° 30'	9,527	91,931	0,121	0 10 30	8	1 13
♂	84 ^a 5 ^d	19,183	0,046	0° 46'	4,221	15,771	0,209	0 10 30	4	1 4
♂	164 ^a 289 ^d	30,055	0,009	1° 47'	4,407	18,542	0,216	0 10 30	1	1 2
☉	—	—	—	—	108,556	324479	0,253	25 12 0	—	—
☾	—	—	—	5° 9'	0,273	0,012	0,602	27 7 43	—	—

§ 52. Auf S. 80 befindet sich eine Tabelle, welche über die Planeten und deren Bahnen die wissenswertesten Zahlen angiebt, nämlich

- a) Dauer der siderischen Rotation in mittleren Sonnentagen.
- b) Halbe groſse Axe = mittlerer Sonnenabstand.
- c) Numerische Excentricität der Bahn.
- d) Neigung der Bahnebene gegen die Ekliptikebene.
- e) Verhältniſs des Durchmessers zu dem der Erde.
- f) Verhältniſs der Masse zu derjenigen der Erde.
- g) Dichte gemessen durch die Erde.
- h) Dauer des Sterntages des Planeten in mittlerer Sonnenzeit unserer Erde.
- i) Anzahl der Monde des Planeten.
- k) Synodische Revolutionszeit, s. § 57.

Den Planeten sind $\odot$ = Sonne und ☾ = Mond angereiht.

§ 53. Die *unteren Planeten* haben kleineren Sonnenabstand als die Erde. Sie heissen Merkur und Venus. Fig. 47

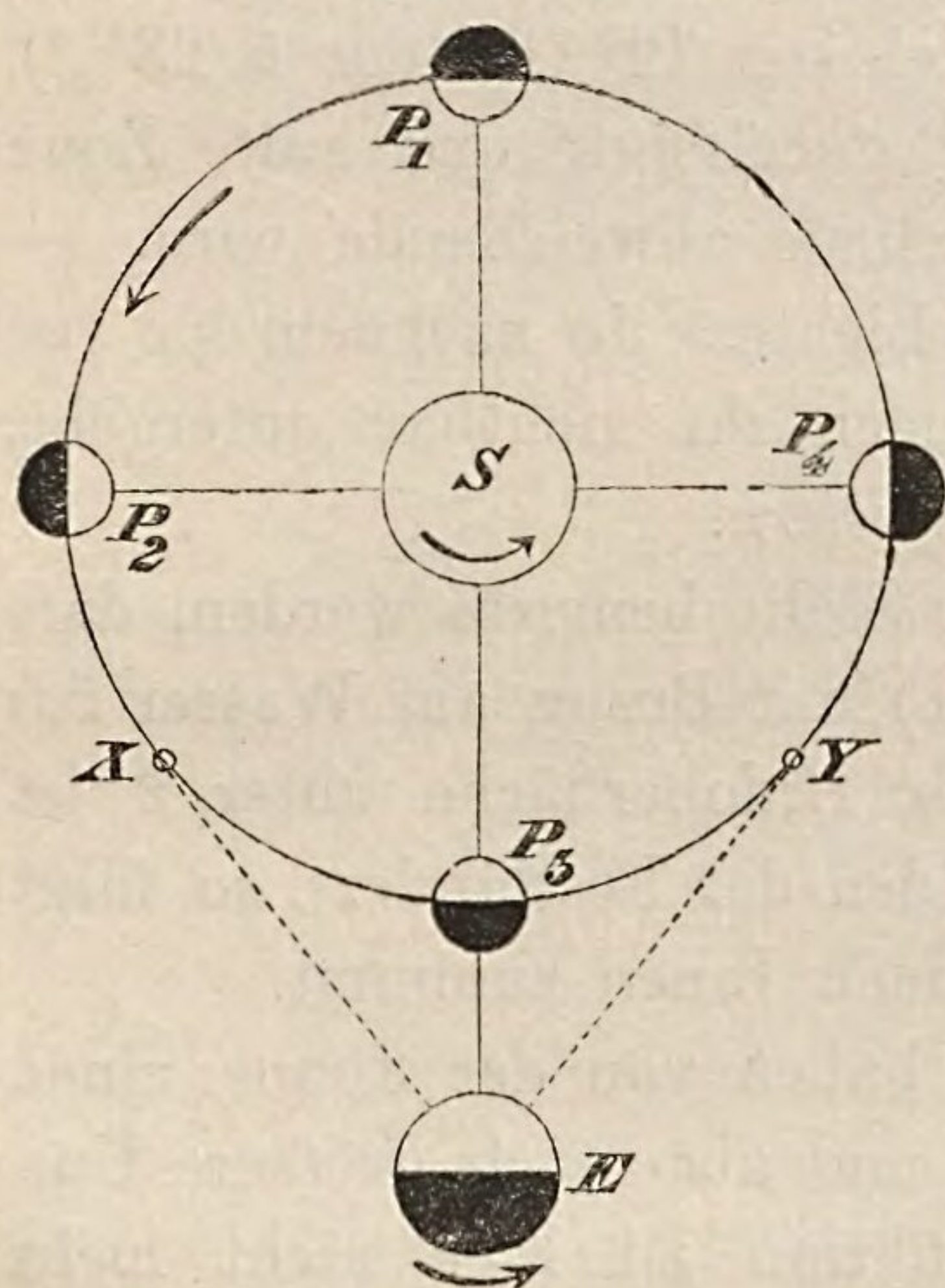


Fig. 47.

giebt die wesentlichsten Lagen eines solchen Planeten zu Erde und Sonne. — Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze sind ihre Revolutionszeiten kleiner als die der Erde. Man denkt sich die Erde bei *E* fest (und giebt dem Planeten als Bewegung die Differenz der Revolutionsbewegungen von Planet und Erde). Die Hauptstellungen sind P_1, P_2, P_3, P_4 . P_1 ist die *obere Konjunktion*, der Planet geht hinter der Sonne durch. P_2 und P_4 sind die *Quadraturen*, X und Y die *Elongationen* (östlich und westlich), P_3 die *untere Konjunktion*.

Die Planeten erscheinen in *Phasen*, wie der Mond. — Diese Phasen, die man an den unteren Planeten beobachtet, zeigen deutlich, daß diese nicht selbstleuchtende Himmelskörper sind; ferner verrät ihre Veränderung deutlich, daß die Planeten um die Sonne kreisen.

§ 54. *Merkur* ☿ ist der Sonne am nächsten, zugleich am dichtesten und hat die am stärksten excentrische Bahn. — Der Planet ist nur bei seiner Elongation gut wahrnehmbar. Der Winkel $\odot \delta \text{ ☿}$ ergibt sich für die mittleren Sonnenabstände und die Elongationen (Fig. 47) zu 23° . Im günstigsten Fall ist ☿ noch 2^h nach Untergang resp. schon 2^h vor Aufgang der Sonne sichtbar. — Der Übergang vom hellen zum dunkeln Teil der Scheibe ist ein allmählicher, ferner ist die Trennungslinie gezackt. Daraus schließt man auf das Vorhandensein einer Atmosphäre und hoher Gebirge.

Venus ♀ hat nach der Tabelle eine runde Bahn von ca. 15 Millionen Meilen Radius. Somit kann sie sich der Erde bis auf etwa $20 - 15 = 5$ Millionen Meilen nähern und bis auf 35 Millionen Meilen entfernen. Infolge dessen ist der scheinbare Durchmesser der Scheibe sehr veränderlich. — Währenddem die Tageslänge ungefähr mit derjenigen der Erde übereinstimmt, bildet ihr Äquator mit der Ebene ihrer Bahn um die Sonne einen Winkel von 72° (bei der $\delta \ 23\frac{1}{2}^\circ$), so daß die Einteilung in heisse, gemässigte und kalte Zone eine von der für die Erde durchaus abweichende wird. — ♀ erscheint uns in blau-weissem Lichte. Je nachdem sie vor der Sonne sichtbar auf- oder nach ihr sichtbar untergeht, heisst sie *Morgenstern*, resp. *Abendstern*.

Für die *Erde* mag an dieser Stelle bemerkt werden, daß ihre Dichte (in der Tabelle = 1) mit Bezug auf Wasser 5,5 ist. Da nun die Dichte an der Erdoberfläche unter 2 ist (Mittel aus Wasser und dem Boden der Festländer), so folgt für die Erde, daß ihre Dichte nach Innen zunimmt.

§ 55. Die *oberen Planeten* haben von der Sonne einen gröfseren Abstand als die Erde und also auch gröfsere Umlaufszeiten. Die untere Konjunktion ist hier nicht mehr möglich. Ist die (Ekliptik-) Länge des Planeten um 0° , 90° , 180° , 270° gröfser als die der Sonne, so ist der Planet bezüglich in Konjunktion, östl. Quadratur, Opposition, westl. Quadratur. Die Phasen dieser Planeten sind nicht beträchtlich, wie eine Figur zeigt, in der man den Planeten nebst der Sonne als fest denkt und die Erde (mit verlangsamter Geschwindigkeit) sich um die Sonne bewegen läfst.

§ 56. Der erste obere Planet ist *Mars*. Erdnähe und Erdferne sind in Distanzen von 8 und 54 Millionen Meilen. — Der Planet erscheint in rötlichem Licht. Seine Abplattung ist $\frac{1}{33}$, also beträchtlich (Scheibe merkbar elliptisch). ♂ rotirt nahe eben so rasch wie die Erde. Seine Äquatorebene bildet mit der Ebene seiner Bahn um die Sonne den Winkel $28^{\circ}42'$ und es ist also die Zoneneinteilung nahezu wie bei uns.

Die Marsatmosphäre ist reich an Wasserdampf und weicht bezüglich ihrer Zusammensetzung von der unsrigen nur wenig

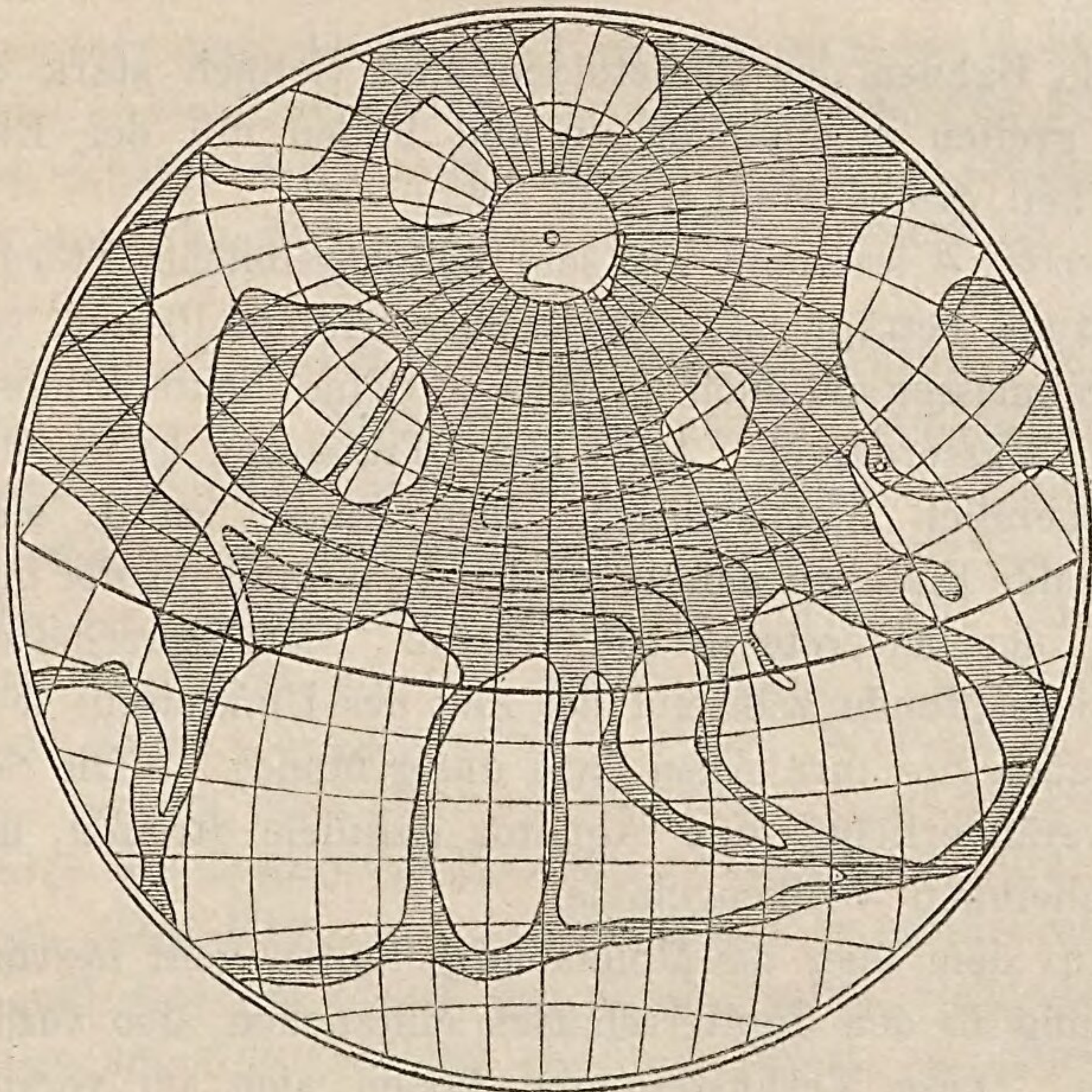


Fig. 48.

ab. Diese Atmosphäre absorbirt vom Sonnenlicht die Farben blau und violett und daraus erklärt sich die rötliche Farbe des Planeten. — Wenn nicht Wolkenbildung auf Mars die Aussicht auf seine Oberfläche verhindert, so erkennt man helle Kontinente und dunkle Meere, an den Polen sogar die sogenannten Polarflecke von intensiv weisser Farbe, die zweifellos Schneefelder sind. — Fig. 48 giebt ein Bild der einen Marshälfte, die den Südpol einschliesst.

Die *Asteroiden* oder *Planetoiden* sind teleskopische Planeten zwischen Mars und Jupiter. Ihre Zahl beläuft sich

auf über 200. Die Durchmesser betragen zwischen 3 und 60 Meilen, wie man nur durch Schätzung hat finden können. Alle zusammen genommen machen nur etwa $\frac{1}{4}$ der Erdmasse aus. Die Sonnendistanzen liegen zwischen 37 und 83 Millionen Meilen (Mars 30, Jupiter 103). Um diese Planeten von den in der Tabelle aufgeführten zu unterscheiden, nennt man sie kleine, die anderen große. Letztere sind zum Teil innerhalb des Asteroidenringes (φ ♀ ♂ ♂), zum Teil außerhalb (♄ ♅ ♂ ♄) und man unterscheidet daher zwischen *inneren* und *äußeren Planeten*.

Die Bahnen der Planetoiden sind vielfach stark excentrisch, greifen in einander ein und bilden mit der Ekliptik zum Theil große Winkel (bis 35^0).

Jupiter ♃ erscheint als sehr heller gelblicher Stern. Die Abplattung beträgt $\frac{1}{17}$. Er ist der größte Planet, sowohl an Durchmesser als auch an Masse. Seine dichte Atmosphäre enthält Wasserdampf. Auch seine Trabanten haben höchstwahrscheinlich Atmosphären. Ihre Anzahl ist 4, sie umkreisen den Planeten nahezu in der Äquatorebene, der innerste in $1\frac{3}{4}$, der äußerste in $16\frac{2}{3}$ Tagen. Nach Herschel drehen sich diese Monde während der Zeit des Umkreisens des Planeten auch um ihre Axen (wie unser Mond). — Die Scheibe zeigt veränderliche, zum Äquator parallele Streifen, höchstwahrscheinlich Wolkengebilde.

Aus dem über die Monde mitgetheilten geht hervor, daß sie häufig in den Jupiterschatten eintauchen, also verfinstert werden. Diese Verfinsterungen lassen sich im voraus berechnen und sind sehr wichtig zur Bestimmung der Zeit z. B. auf Schiffen. Hierbei wirkt wesentlich mit, daß diese Monde schon durch kleine Fernröhre deutlich sichtbar sind.

Saturn ♄ erscheint in matt weißem Lichte. Er ist der zweitgrößte und lockerste Planet, dreht sich sehr rasch um seine Axe und hat im Zusammenhange damit die starke Abplattung $\frac{1}{9}$. Die 8 Monde haben Umlaufszeiten von 0,94 bis 79,3 Tagen. Die ersten 3 werden wie die 4 Monde zur Zeitbestimmung benutzt. Im Monat Januar 1881 verfinstern sie sich bezüglich 18, 9 und 4 Mal. Der erste Mond ist nur 3 Saturnradien von der Planetenoberfläche entfernt.

Eigentümlich ist, daß dieser Planet von einem *Ring-system* umgeben ist. Dasselbe ist ein flaches in mehrere Ringe getrenntes Band in der verlängerten Äquatorebene. Die Atmosphäre reicht bis an dieses Ringsystem hinan. — Wie bei 24 kommen auch hier dem Äquator parallele Streifen vor.

Uranus ♅ ist erst seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts als Planet bekannt. Er umläuft die Sonne in 84 Jahren, verweilt also in jedem Zeichen der Ekliptik 7 Jahre. Die Langsamkeit dieser Bewegung den Fixsternen gegenüber bewirkte, daß man diesen Stern ehemals nicht als Planeten erkannte. — Die Entfernung von der Sonne ist 381 Millionen Meilen, deshalb der Planet mit seinen Monden schwach von der Sonne beleuchtet und es sind daher letztere nur schwer zu sehen.

Neptun ♆ ist dem bloßen Auge unsichtbar. Man hat bei ihm nur einen Mond gefunden und es liegt die Möglichkeit sehr nahe, daß noch andere vorhanden sind, die selbst durch die besten Fernröhre nicht gesehen werden können.

Neptun wurde auf folgende Art entdeckt. Nachdem Uranus als Planet erkannt worden war, beobachtete man ihn zum Zwecke der Feststellung seiner Bahn um die Sonne. Hierbei zeigten sich Unregelmäßigkeiten in der Bewegung, die durch die bekannten Planeten nicht hervorgebracht sein konnten. Das führte auf den Gedanken, es möchte noch ein bisher unbekannter Planet außerhalb Uranus vorhanden sein. Aus dem auf ♅ ausgeübten Einflusse ließen sich Masse und Lage im Raume eines störenden Planeten berechnen. Im Jahre 1846 fand man diesen Stern wirklich, die Beobachtung stimmte mit der Rechnung überein, der vermeintliche Fixstern erwies sich als Planet und wurde Neptun genannt. Ob außer ihm noch mehr Planeten existieren, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden, da ♆ noch sehr wenig lange bekannt ist.

§ 57. Die Planetentabelle von § 52 enthält die siderischen Umlaufszeiten der Planeten. Man soll daraus die synodischen berechnen d. h. die Zeiten bis die unteren Planeten je wieder zur unteren Konjunktion, die oberen zur

Opposition gelangen. — Nimmt man an, es bewegen sich die Planeten in kreisförmigen Bahnen gleichförmig um die Sonne, so erhält man durch folgende einfache Rechnung den mittleren Wert der gesuchten Zeit.

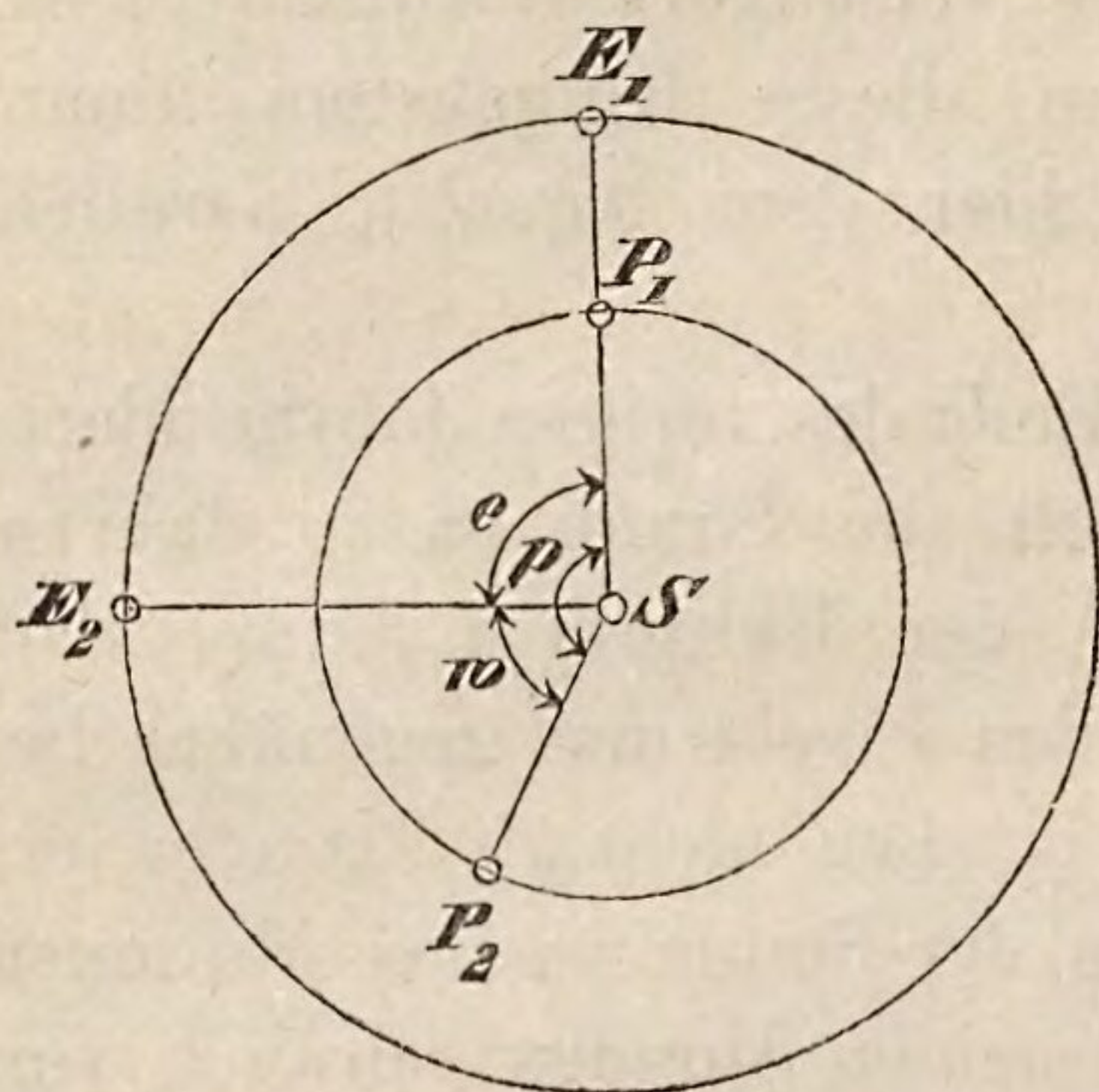


Fig. 49.

Die Erde E (Fig. 49) habe die siderische Umlaufszeit T , der Planet dagegen T_1 (ausgedrückt in mittleren Sonnentagen). Nach t Tagen haben sich die Radien der Erd- und Planetenbahn um die Winkel e, p gedreht; am Anfang dieser

t Tage sei der Planet in unterer Konjunktion. Zur Berechnung von e, p hat man die Formeln

$$t : T = e^{\circ} : 360^{\circ}, \quad t : T_1 = p^{\circ} : 360^{\circ},$$

hieraus

$$e = \frac{t}{T} \cdot 360, \quad p = \frac{t}{T_1} \cdot 360.$$

Für den Winkel w ergibt sich somit

$$w = p - e = t \cdot 360 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right) = t \cdot 360 \cdot \frac{T - T_1}{T \cdot T_1}.$$

Soll nun der Planet in die nächste untere Kulmination gelangen, so muß w zu 360° anwachsen. Für diesen Fall erhält man für die Dauer des *synodischen Planetenjahres*

$$t = \frac{T \cdot T_1}{T - T_1}.$$

Diese Formel gilt auch für die oberen Planeten, wenn T und T_1 vertauscht werden.

§ 58. Über die Entstehung des Sonnensystems ist direkt nichts bestimmtes auszusagen, allein man kann sich dieselbe in einer Weise erklären, welche die höchste Wahrscheinlichkeit hat.

Vor allem fällt das Einheitliche im Bau des Sonnensystems auf. Um den Hauptkörper kreisen die Planeten und es sind deren Umlaufszeiten größer als die Rotationszeit der Sonne. Um die Planeten kreisen Monde, deren Umlaufszeiten

größer sind als die Rotationszeiten der zugehörigen Planeten. Die Rotationen und die Revolutionen geschehen im selben Sinne, nämlich von West nach Ost. Die Planetenbahnen bilden mit der Ekliptik kleine Winkel (bis 7° , abgesehen von den Planetoiden), desgleichen der Sonnenäquator (7°). Die der Sonne nahen Planeten sind dicht, die Sonne selbst ist wenig dicht, dagegen im flüssigen Zustande. — Die Spektralanalyse zeigt, daß auf der Sonne dieselben chemischen Elemente sind, wie auf der Erde (allerdings sind noch nicht alle nachgewiesen), somit wohl auch wie auf den Planeten überhaupt.

Man nimmt nun an, es sei vor Millionen von Jahren das Sonnensystem aus einer Gasmasse entstanden. Eine ursprünglich kleine Menge von Gasen wurde der Sammelplatz, an welchem infolge der Gravitation Verdichtung des vorhandenen und Herbeiströmen von neuem Gase stattfand. (Solche Gasmengen bewegen sich in der That im Weltraume, d. i. in den Räumen zwischen den einzelnen Sternen, wie verschiedene Beobachtungen und Betrachtungen zeigen.) War nun etwa durch seitliches Zufließen der Gase das Ganze in geringe Rotation versetzt worden, so blieb diese Rotation für immer erhalten. Der durch die Materie ausgefüllte Raum nahm die Form eines Sphäroids an (§ 8), verdichtete sich, wurde somit kleiner und die Winkelgeschwindigkeit größer. In der äquatorealen Zone wurde die Centrifugalkraft so be-

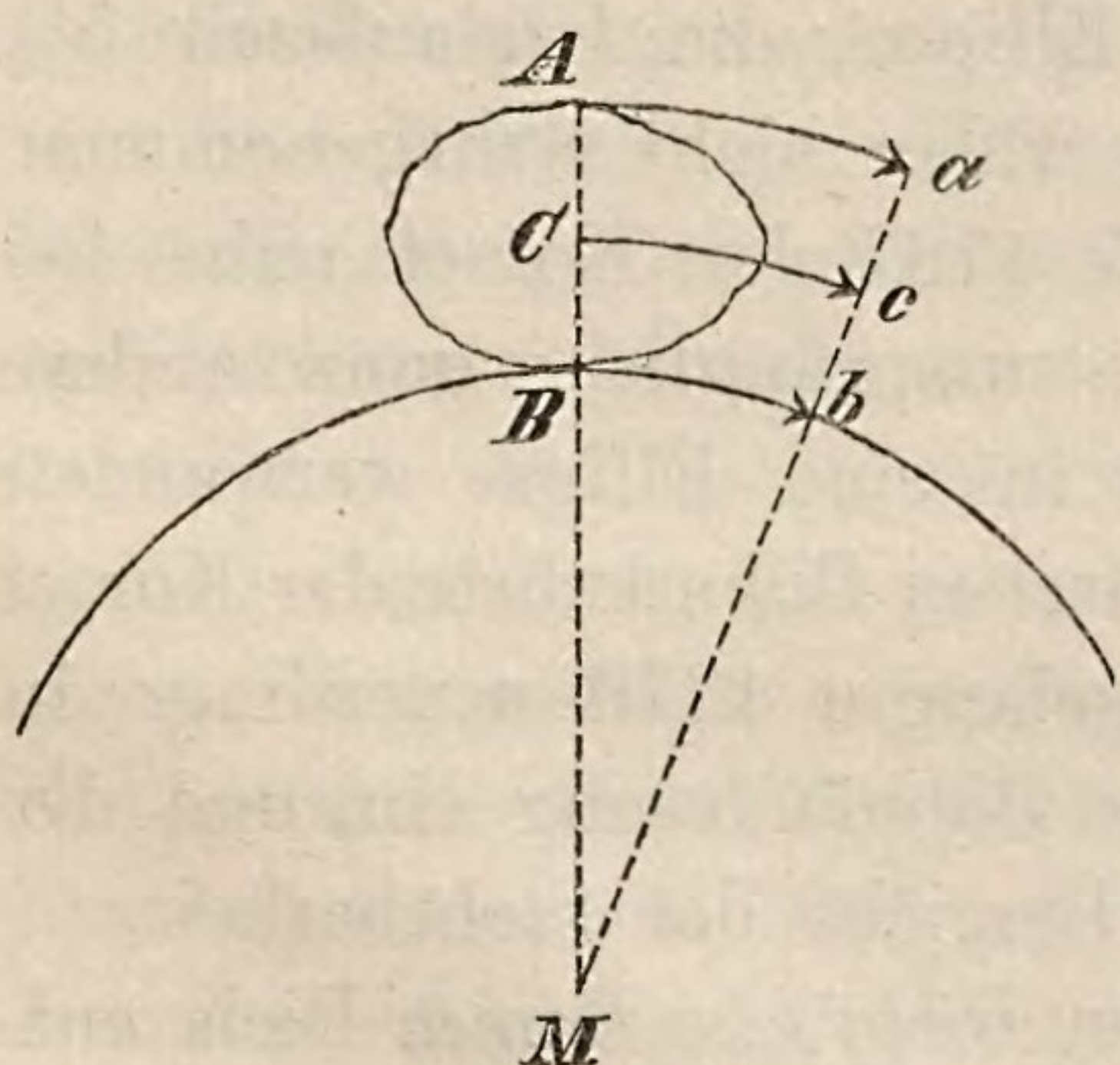


Fig. 50.

deutend, daß sich einzelne Teile ablösten (die sich ihrerseits wieder zu Kugeln verdichteten). Die dem Ganzen eigentümliche Rotationsgeschwindigkeit wurde für das abgetrennte Stück zur Revolutionsgeschwindigkeit (c); der Überschuss der Drehgeschwindigkeit außerhalb von der innerhalb ($a - b$) ergab für das abgelöste Stück die Rotation. Wie

nun auf diese Weise Planeten entstanden sind, konnten sich wiederum einzelne Massen von ihnen selbst losrennen (Tra-

banten, Ringe des Saturn). — Die Asteroiden haben sich nach dieser wahrscheinlichsten Entstehungsweise des Sonnensystems zu gleicher Zeit als Ring vom Ganzen abgelöst, welcher sich nachträglich zerteilte.

§ 59. Die *Sternschnuppen* und gewisse *Kometen* sind ebenfalls Körper, die dem Sonnensysteme angehören.

Die Kometen kehren entweder periodisch wieder, oder sie werden nur ein Mal bez. einige Male gesehen. Die ersteren gehören unserem Sonnensysteme an. Die letzteren dagegen, und sie bilden die große Mehrheit, gehören dem großen Fixsternsysteme an und gelangen auf ihrer ungeheuren Wanderung von Sonne zu Sonne. Die dem Sonnensysteme angehörigen bewegen sich in stark excentrischen Ellipsen um die Sonne und sind beinahe sämtlich teleskopisch.

Gelangt ein Komet bei seiner Wanderung durch den Weltenraum nahe an unsere Sonne, wirkt die Anziehung derselben auf ihn ein. Der Komet bewegt sich mit wachsender Geschwindigkeit bis zu seiner Sonnennähe (Perihel). Dort findet auch die stärkste Umbiegung der Bewegungsrichtung statt. — Mit abnehmender Geschwindigkeit geht er wieder in den Weltenraum hinaus. — Hierbei kann für den Kometen das Perihel der Sonne sehr nahe liegen und es kann die Ebene seiner Bahn mit der Ebene der Ekliptik jeden beliebigen Winkel bilden.

Im Jahre 1770 erschien der sogenannte *Messier-Lexell'sche Komet*. Seine Bahn war eine Ellipse, die Umlaufszeit $5\frac{1}{2}$ Jahre. Dennoch hatte man ihn früher nicht wahrgenommen. Nachträglich zeigte es sich, daß 1767 der Komet nahe bei Jupiter vorbeiging, wobei die ursprünglich ganz andere Bahn (Parabel oder Hyperbel) in eine Ellipse verwandelt wurde. In der genannten elliptischen Bahn kehrte der Komet 1776 zur Sonnennähe zurück, gelangte 1779 neuerdings in Jupitersnähe. Es trat eine neue Bahnänderung ein, und der Komet entfernte sich aus dem Bereiche der Sichtbarkeit.

Eben so merkwürdig ist der *Biela'sche Komet*. Biela entdeckte ihn 1826. Die Rechnung ergab eine Umlaufszeit von $6\frac{3}{4}$ Jahren (und eine elliptische Bahn). Damit war erwiesen, daß dieser Komet mit einem schon früher gesehenen

identisch war. Im Jahre 1832 ging der Komet nahe an der Erdbahn vorbei, die Erde war aber zu dieser Zeit 11 Millionen Meilen von jenem Punkte ihrer Bahn entfernt, also die damals in hohem Maße vorhandene Furcht vor dem Zusammentreffen des Kometen mit der Erde höchst unbegründet. — Dieser Komet erschien regelmässig wieder. 1845 bemerkte man deutlich, dass er sich in zwei teilte, wobei die Teile sich in grösser werdender Distanz folgten.

Diese Teile sah man noch beim nächsten Erscheinen 1852, seither erschien der Komet aber nicht wieder als solcher, er hat sich ohne Zweifel gänzlich aufgelöst (s. Sternschnuppenschwärme).

Einzelne Kometen bestehen aus heissen, schwach selbstleuchtenden Gasmassen; andere sind eher mit Staubwolken zu vergleichen; endlich giebt es Kometen, die in der den „Kopf“ bildenden Nebelhülle eine deutlich abgegrenzte runde Scheibe aufweisen. Die an der Scheibe zuweilen sichtbaren Phasen zeigen, dass diese Kometen von der Sonne beleuchtet werden.

Währenddem im Weltenraume eine niedrige Temperatur herrscht (-60° ?), sind dort die Kometen meist klein und von uns aus nicht wahrzunehmen. Die Annäherung an die Sonne bewirkt aber eine Temperaturzunahme und Verdampfung einzelner Bestandteile, woher in vielen Fällen die Schweifbildung rührt. Hierbei bleiben die abgelösten Teile in der Bewegung zurück (gebogener Schweif).

Die Bahnen der Kometen haben gezeigt, dass diese Weltkörper in der grossen Mehrzahl aus den Regionen der Milchstrasse zu uns kommen (s. § 61).

Durch Auflösung der Kometen, die unserem Sonnensystem angehören, also periodisch sind, entstehen ohne Zweifel *Sternschnuppenschwärme*. Ein solcher Schwarm war am 10. Nov. 1866 sichtbar. Die Sternschnuppen des Schwarms hatten sämtlich parallele Bahnen. Wie man nämlich für einen Kometen aus den Beobachtungen auf die Bahn schliessen kann, ist dasselbe für Sternschnuppen der Fall. Die Rechnung ergab für den Schwarm eine Umlaufszeit von $33\frac{1}{4}$ Jahren. — Für einen im Januar desselben Jahres (1866) erschienenen

Kometen ergab sich aber eine Umlaufszeit von 33,18 Jahren, ferner nahezu dieselbe Bahn wie nachträglich für den Novemberschwarm. Der Zusammenhang beider ist somit nicht zu bezweifeln.

Bekanntlich sind um den 10. August regelmäßig viele Sternschnuppen sichtbar (Thränen des heil. Laurentius). Sie bilden einen um die Sonne kreisenden Meteorring, der die Erdbahn da durchschneidet, wo sich die Erde am 10. August befindet.

Es giebt Sternschnuppen, die auf eine Strecke unsere Atmosphäre durchlaufen. Hierbei kommt es vor, daß sie als *Meteoriten* oder als *Meteorregen* auf die Erde fallen. Diese Körper sind aus Kieselerde, Eisenoxyd, gediegenem Eisen etc. zusammengesetzt. Oft sind sie mit Gasen umgeben, die beim Eintritt in die Atmosphäre verbrennen. In diesem Falle ist das Meteor als Scheibe sichtbar und heißt *Feuerkugel*.

§ 60. Das *Zodiakallicht* wird bei uns am leichtesten im März vor der Zeit des Neumondes etwa 2 Stunden nach Sonnenuntergang beobachtet. Von der Stelle des Horizontes, bei welcher die Sonne unterging, bis zu den Plejaden hinauf, also längs der Ekliptik, sieht man einen hellen Lichtschimmer. In der heißen Zone der Erde sieht man ihn fast täglich nach Sonnenuntergang und am Osthimmel vor Sonnenaufgang.

Um die Erscheinung zu erklären nimmt man an, daß innerhalb der Erdbahn nahezu in der Ebene der Ekliptik unzählig viele kleine Körper um die Sonne kreisen.

Bezeichnen e und b die Schiefe der Ekliptik und die geogr. Breite, so ist für Tag- und Nachtgleiche $90^\circ - b + e$ der Winkel der Ekliptik mit dem Horizont für den Moment des Sonnenunterganges. Dieses ist zugleich der maximale Wert dieses Winkels, deshalb hebt sich der Zodiakallichtstreifen stark vom Horizont ab. Das ist aber günstig für die Beobachtung. — Für das Herbstäquinoktium findet daselbe statt, wenn morgens vor Aufgang der Sonne beobachtet wird.

§ 61. Über das Fortbestehen des Sonnensystems sind eingehende Untersuchungen angestellt worden. Für die Erde ergiebt sich folgendes.

Vor allem wirken Sonne und Mond auf die Bahn unserer

Erde sowie auf die Erdaxe ein, nicht aber auf die Rotationsdauer. Aber auch die anderen Planeten, die ihre Lage zur Erde stets wechseln, üben einen Einfluss aus. Die Wirkung des Einflusses von Sonne, Mond und Planeten auf Erdbahn und Erdaxe nennt man *Störungen*. Dieselben gehen entweder langsam und stetig vor sich (sekuläre) oder sie sind periodische. Letztere brauchen hier nicht berücksichtigt zu werden. — Die sekulären Störungen haben keinen Einfluss auf die große Axe der Erdbahn, damit auch keinen auf die Umlaufszeit. Excentricität und Bahnebene schwanken langsam zwischen sehr engen Grenzen, das Perihel aber durchwandert im Laufe vieler Jahrtausende die gesamte Bahn. — Die Einrichtung des Sonnensystems ist also für die Erhaltung der Erde (auf Millionen von Jahren hinaus) durchaus günstig.

Die Annahme z. B., es sei in einem früheren geologischen Zeitalter die Excentricität der Erdbahn sehr gering gewesen, ist somit ganz unhaltbar (ebenso mit § 58 unverträglich).

X.

Das Weltgebäude.

§ 62. Es sollen nochmals die Gestirne betrachtet werden, die nicht zu unserem Sonnensystem gehören. Vor allem sind das die *Fixsterne*. Sie erscheinen in sehr verschiedenen scheinbaren Größen und es wurde schon erwähnt, dass je nach der Lichtstärke man 1., 2. Gröfse etc. unterscheidet. Zählungen ergaben, dass je die folgende Gröfse ca. 3mal mehr Sterne aufweist, wie die vorangehende. Mit bloßem Auge sind 6000 Sterne sichtbar. Mit den größten Teleskopen sieht man 40 Millionen. Die Sterne 1., 2. Gröfse sind nach Struve in der Anzahl 18, 54 vorhanden. Dabei sind die 6 ersten Größensklassen dem bloßen Auge noch sichtbar.

Man fand durch Vergleichen, dass die hellsten Sterne im allgemeinen die nächsten sind. Der Stern α im Centaur ist von der Erde 4 Billionen Meilen entfernt (nächster Fix-

stern). Diese Entfernung ist 222 000mal die Entfernung der Erde von der Sonne. Das Licht, das sich in jeder Minute 40 000 Meilen fortbewegt, gebraucht somit über 3 Jahre, um von diesem Sterne zu uns zu gelangen. Wir sehen ihn in jedem Momente so wie (und wo) er vor 3 Jahren war. — Die übrigen Sterne erster Gröfse sind weiter entfernt, ihr Licht gelangt erst in etwa 10 Jahren zu uns, für die sechste Gröfse in 120 Jahren, für die kleinsten Fixsterne in nahe 2 Millionen Jahren, — ein Beweis dafür, daß die Welt im Ganzen schon ganz ungeheuer lange besteht.

Da sich die Fixsterne gegen einen grössten Kreis hin, dessen Ebene die *galaktische Ebene* heifst, am stärksten anhäufen, so schloss man, es müsse die Gesamtheit der Fixsterne ein linsenförmiges System bilden. (Vielleicht sind mehrere solche Systeme vorhanden und oben nur die der Erde nahen Fixsterne gemeint.) Die grofse Axe dieser Linse (oder des Sphäroids) ist das 11fache der kleinen. Verbindet man das Centrum der Linse mit der Sonne, so trifft diese Linie das Himmelsgewölbe zwischen Orion und Zwillingen. Im übrigen ist die Sonne nahe beim Mittelpunkte.

Nahe dem galaktischen Kreise befindet sich die *Milchstrafse*. Dieselbe ist der Schimmer von unzählig vielen kleinen Fixsternen und es ist ihre Erscheinung eine Folge davon, daß diese Fixsterne das vorhin genannte System bilden. — Da die Erde dem Centrum nahe ist, so erscheint uns die Milchstrafse nahe als Grofskreis. Gegen die Zwillinge hin ist sie am lichtesten, auf der entgegengesetzten Seite am dichtesten.

Die Beobachtung der Fixsterne mit blofsem Auge zeigt schon, daß ihre *Farben* verschieden sind. Es giebt weifse, orangefarbene, rote, blaue. Veränderungen der Farbe an einem und demselben Sterne innerhalb grofser Zeiträume sind konstatiert. So z. B. wurde im Altertum Sirius zu den roten Sternen gezählt, jetzt ist er entschieden weifs.

Die Spektralanalyse zeigt, daß die Fixsterne von ähnlicher Beschaffenheit sind wie die Sonne. Sie sind glühende Körper, von einer aus Dämpfen gebildeten Atmosphäre umgeben. Die Wärmeausstrahlung ist durch die Thermosäule z. B. bei Sirius, Arktur konstatiert worden.

Viele Sterne sind sog. *veränderliche*. Ihre Helligkeit schwankt periodisch in bestimmter Weise zwischen zwei Grenzen. Dabei kommen Perioden vor von wenigen Tagen und auch von mehreren Jahren. Vielleicht ist die Ursache eine ähnliche wie die der Sonnenflecken, vielleicht aber sind diese Sterne im Begriffe zu erlöschen.

§ 63. In der Nähe der Milchstraße trifft man sog. *Sternhaufen*. Es sind das Anhäufungen von vielen tausenden von Sternen, welche jedoch nur durch scharfe Teleskope gesehen unterschieden werden können und auch dann oft bloß an der äufseren Grenzlinie des Haufens. Die Begrenzung ist im allgemeinen rund und man nimmt an, daß die zugehörigen Sterne infolge der Gravitation ein vollständiges Sternsystem bilden ähnlich der genannten Fixsternlinse.

Die sog. *Nebel* sind in sehr großer Zahl vorhanden. Einzelne sind rund begrenzt und zeigen auf der ganzen Fläche gleichmäßiges Licht (vielleicht Welten im chaotischen Zustande). Andere haben einen scharf hervortretenden Kern (Nebelsterne, Sterne mit Nebelhülle). Endlich giebt es welche, oft von ganz ungeheurer Größe, die aus leuchtenden Gasen zu bestehen scheinen (wie der Orionnebel). Möglich ist auch, daß unter diesen Nebeln fertige Welten vorkommen, die eine ganz andere Konstitution haben als die große Mehrzahl.

§ 64. Indem man Rektascension und Deklination von Fixsternen möglichst genau und zu verschiedenen Zeiten bestimmt, erfährt man, daß diese Koordinaten sich verändern. Zum Teil rühren diese Veränderungen von unmittelbar bekannten Ursachen her, von Präcession (Vorrücken des Zählungspunktes der Rektascension), der Änderung der Schiefe der Ekliptik u. s. f. (s. § 61.) Abgesehen von solchen Änderungen, die ihre Ursache in unserem Sonnensysteme selbst haben, giebt es noch andere, die man *Eigenbewegung der Fixsterne* nennt. So z. B. ändern sich für die Sterne 61 im Schwan, α im Centaur Rektascension und Deklination jährlich um

$$5'',38, 3'',30; - 7'',05, 0'',83.$$

W. Herschel gebührt das Verdienst, für den größten Teil dieser Eigenbewegungen die Ursache ermittelt zu haben.

Dieselbe ist nichts anderes als *die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems im Weltenraum*. Seien nämlich A und B ,

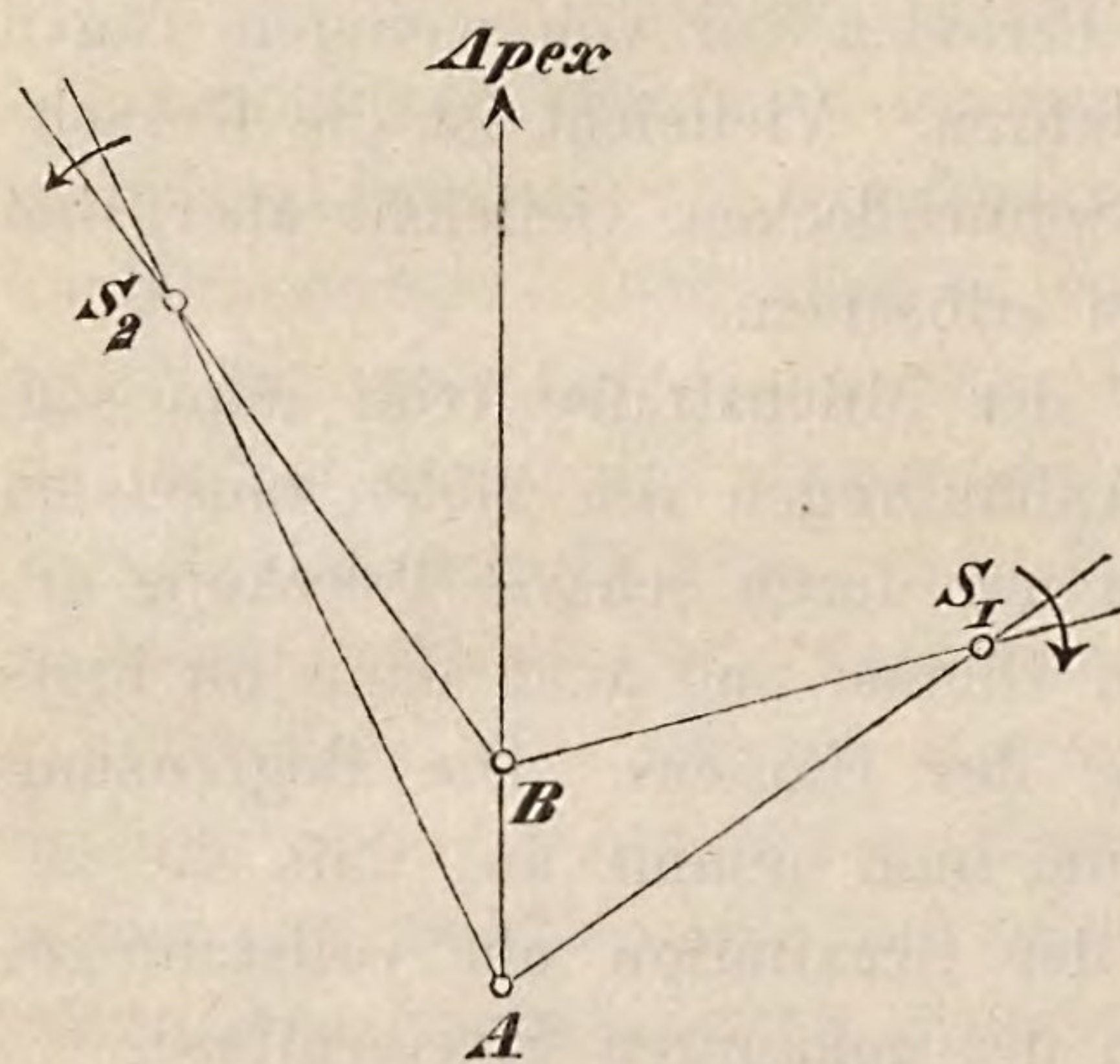


Fig. 51.

Fig. 51, zwei Stellungen der Sonne am Anfang und am Ende eines Jahres. Der Stern S_1 wird alsdann erst i. d. Richtung AS_1 , später in BS_1 gesehen, zeigt also die durch den Pfeil angedeutete scheinbare Bewegung. Der Stern S_2 zeigt eine entgegengesetzte Bewegung. Zeichnet man noch mehr Sterne in die Figur, so erkennt man,

dafs in der mit *Apex* bezeichneten Richtung die Sterne auseinander-, in der entgegengesetzten aber zusammengehen.

Die fortschreitende Bewegung der Sonne und damit des Sonnensystems nach dem Apex beträgt 4000 Meilen in der Stunde. Die ungefähre Lage des Apex ist in Fig. 35 bei A , so dafs jetzt nahezu Pol, Ekliptikpol und Apex auf einem Großkreise liegen.

Es ist nicht wahrscheinlich, dafs die Sonne diese Bewegung beibehalten wird. Vielmehr wird sie in einer Ellipse um einen sehr fernen Punkt kreisen, dem Schwerpunkt eines Systems von Fixsternen. Jedoch wird erst in hunderten, ja tausenden von Jahren es möglich sein, hierüber bestimmtes zu erfahren.

§ 65. Nachdem man erkannt hat, dafs unsere Sonne mit zu den Fixsternen gehört, wird man geradezu erwarten, dafs man für Fixsterne sog. *Trabanten* gefunden hat.

Sehen wir zwei Fixsterne mit einem Abstand unter $1'$, so haben wir einen Doppelstern vor uns. Dabei ist möglich, dafs beide Sterne mit dem Sonnensystem nahe in Gerader sind und dafs sie selbst in sehr ungleichen Distanzen von der Erde sich befinden, also zwischen sich einen sehr großen Abstand haben. Ein solcher *optischer Doppelstern* (resp. mehrfacher Stern) kennzeichnet sich dadurch, dafs die Eigen-

bewegungen der einzelnen Sterne von einander unabhängig sind, es gehen die Sterne in Geraden an einander vorbei (allerdings sehr langsam).

Die *physischen Doppelsterne* haben auch sehr kleine Abstände. Für sie läßt sich aber eine gemeinsame Bewegung konstatieren, es bewegen sich beide in Ellipsen um einen gemeinsamen zwischen ihnen gelegenen Schwerpunkt. Der kleinere wird diesfalls als Trabant des größeren betrachtet.

Die interessanteste Gruppe hat α im Centaur als Hauptgestirn. Dieser Stern 1. Gröfse (s. § 62) ist 7410mal soweit von uns entfernt als Neptun von der Sonne. Um ihn kreist ein Stern 2. Gröfse in einer Ellipse mit der halben großen Axe 23,5 ($\delta \odot = 1$ gesetzt) in 85 Jahren. Die halbe große Axe erscheint uns als Winkel von $21'',8$, die Excentricität ist 0,67. Die Masse der beiden Sterne zusammen ist 1,8mal die der Sonne. — Es sind schon mehrere Umläufe dieses Systems beobachtet worden.

Ein anderes Beispiel giebt Sirius. Sein Begleiter ist 9. Gröfse. Die Revolution geschieht in 49,4 Jahren. Die große Axe sieht man unter $2'',33$; die Excentricität ist 0,61. In Wirklichkeit ist die halbe große Axe 37mal die Entfernung $\delta \odot$, die Siriusmasse ist 13,76 und die des Begleiters 6,71 Sonnenmassen. Sirius ist 1 067 000 Halbmesser der Erdbahn (21 Billionen Meilen) von uns entfernt und sein Licht gebraucht 17 Jahre, um zu uns zu gelangen. Die letztere Distanz vergrößert sich nach spektralanalytischen Beobachtungen um 29 Meilen in der Sekunde. — Der in Fig. 9 angedeutete Doppelstern ξ im großen Bären wird seit 1755 beobachtet. Beide Sterne scheinen ihren Umlauf um den gemeinsamen Schwerpunkt erst in je 18 000 Jahren zu vollziehen. Zugleich ist konstatiert, daß die Helligkeit des Sterns ξ im Laufe der Jahrhunderte wächst.

Alphabetisches Register.

Die Nummern beziehen sich auf die Paragraphen.

Abendstern	54	Ekliptik.	34
Abendweite	27	Elongation	14
Abplattung	6	Erdkugel	1
Äquator	2, 13	Fackeln der Sonne	40
Äquatoreal	22	Fadenkreuz	18
Äquinoktien	35, 43	Fallversuch	8
Apex	64	Farben der Sterne	62
Aphel	42	Fernrohr	18
Apogäum	46	Feste	37, 47
Apsidenlinie	46	Feuerkugel	59
Asteroiden.	56	Finsternisse	50
Aufgang.	27	Fixsterne	10, 62
Axe.	2, 11	Flecken der Sonne	40
Axenlibelle	16	Flut	49
Azimut	14	Foucault's Pendelversuch	8
		Frühlingspunkt	15
Breite in der Ekliptik	34		
Breite, geographische	3	Galaktische Ebene	62
		Gestalt der Erde.	1, 6
Chromosphäre	40	Gradmessung	6
Circumpolarstern	13	Granulation	40
Colur	15	Gravitation	41
Corona	40		
		Himmelsgewölbe	9
Deklination	15, 64	Höhe (über dem Horizont).	14, 33
Dichte	52	Höhe der Atmosphäre	33
Doppelstern	65	Höhenkreis	14
Dosenlibelle	17	Horizontebene	4
Ebbe	49	Jahr, siderisches	36, 43
Eigenbewegung der Fixsterne	64	Jahr, tropisches	37

Jahr, synodisches	57	Perihel	42
Jahreszeiten	35	Phasen	46, 53
Jupiter	56	Planeten	41, 51
Kalender	37	Planetoiden	56
Kepler'sche Gesetze	41	Pol	2
Kimmtiefe	29	Polarkreis	43
Knotenlinie	46	Polhöhe	13, 29
Kometen	59	Präcession	43
Koordinaten	3, 14, 15, 34	Protuberanzen	40
Konjunktion	46, 53	Quadratur	46, 53
Konstellation	10	Quecksilberhorizont	25
Kreis, arktischer und antark- tischer	13	Rektascension	15, 64
Kulmination	13	Refraktion	33
Länge in der Ekliptik	34	Rillen	44
Länge, geographische	3, 30	Ringgebirge	44
Mars	56	Rotation der Erde	7
Meridian	2, 11, 28	Rotation der Sonne	40
Meridianinstrument	20	Saturn	56
Merkur	54	Schaltjahr	37
Milchstrafse	62	Sextant	19
Miren	24	Solstitien	35, 43
Mittag	36	Sonne	40, 42
Mittagslinie	4, 11	Sonnensystem	58, 64
Monat	46	Sonnentag	36
Mond	44, 51	Sonnenuhr	39
Mondjahr	48	Südpunkt	13
Mondviertel	46	Sternkarten	38
Morgenstern	54	Sternschnuppen	59
Morgenweite	27	Sterntag	11, 15, 37
Nacht	43	Sternzeit	15
Nadir	9	Störungen	61
Nebel	63	Stundenwinkel	15
Neptun	56	Tag	43
Nordpunkt	13	Tagbogen	27
Nutation	43	Theodolith	21
Opposition	46	Thierkreis	35
Ostern	47	Trabant	51, 65
Ostpunkt	13	Uhr	23
Parallelkreis	2, 13, 15	Untergang	27
Perigäum	46	Uranus	56

Venus.	54	Wendekreis	43
Vertikal.	14	Westpunkt	13
Vertikale	4		
		Zeichen des Thierkreises .	35, 42
Wandelsterne	51	Zeit	32
Weltaxe.	11	Zeitgleichung	36
Weltgebäude	62	Zenith	9, 14
Weltsysteme.	7	Zodiakallicht	60
		Zone	2, 13



Neuer Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

1880.

- Abhandlungen** zur Geschichte der Mathematik. Drittes Heft. [276 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 6.40.
- Archimedis** opera omnia cum commentariis Eutocii. E codice Florentino recensuit, latine vertit notisque illustravit I. L. HEIBERG. Vol. I. [IV u. 276 S. mit vielen Figuren im Text.] 8. geh. *M.* 6.—
- Brockmann, F. J.**, Oberlehrer am königl. Gymnasium zu Cleve, Lehrbuch der ebenen und sphärischen Trigonometrie. Für Gymnasien und Realschulen bearbeitet. Mit 46 Holzschnitten im Text. Zweite Auflage. [VIII u. 156 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 1.60.
- Cantor, Moritz**, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Erster Band. Von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1200 n. Chr. Mit vielen Holzschnitten im Text. [VIII u. 804 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 20.—
- Doll, Dr. M.**, Lehrer der praktischen Geometrie am Großh. Polytechnikum zu Karlsruhe, Lehrbuch der praktischen Geometrie zum Unterricht an Baugewerkschulen und technischen Mittelschulen. Mit Figuren im Text. [IV u. 77 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 2.40.
- Eddy, Dr. H. T.**, Professor der reinen und angewandten Mathematik an der Universität zu Cincinnati, neue Konstruktionen aus der graphischen Statik. Mit zehn Figuren im Text und sechs Tafeln. Vom Verfasser vermehrte und verbesserte deutsche Ausgabe. [IV u. 106 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 4.—
- Helmert, Dr. F. R.**, Professor an der technischen Hochschule zu Aachen, die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. Einleitung und I. Teil: Die mathematischen Theorien. Mit vielen Figuren im Text. [XV u. 631 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 18.—
- Herwig, Dr. Hermann**, Professor an der technischen Hochschule zu Darmstadt, physikalische Begriffe und absolute Maasse. [VIII und 89 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 2.40.
- Klempt, Diedr. Aug.**, Realschullehrer in Rostock, Lehrbuch zur Einführung in die moderne Algebra. Mit einigen Hundert Beispielen. [XII u. 260 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 4.—
- Königsberger, Leo**, zur Geschichte der Theorie der elliptischen Transcendenten in den Jahren 1826—1829. [104 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 3.—
- Lagrange's** mathematische Elementarvorlesungen. Deutsche Separatausgabe von Dr. H. NIEDERMÜLLER, Oberlehrer am Nicolaigymnasium zu Leipzig. [IV u. 116 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 2.40.

- Mayer, Ernst**, Professor an der K. K. Marineakademie in Fiume, über Küstenaufnahmen. Ein Beitrag zu den Lehr- und Handbüchern der Geodäsie. Mit Holzschnitten im Text und vier Tafeln. [60.] gr. 8. geh. n. *M.* 2.40.
- Saalschütz, Prof. Dr. Louis**, der belastete Stab unter Einwirkung einer seitlichen Kraft. Auf Grundlage des strengen Ausdrucks für den Krümmungsradius. Mit Holzschnitten im Text u. 3 lithographirten Tafeln. [XXXI u. 247 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 9.—
- Salmon, George**, analytische Geometrie des Raumes. Deutsch bearbeitet von Dr. WILHELM FIEDLER, Professor am eidgenössischen Polytechnikum zu Zürich. II. Theil: Analytische Geometrie der Curven im Raume, der Strahlensysteme und der algebraischen Flächen. Dritte verbesserte Auflage. Mit Holzschnitten im Text. [LXXII u. 686 S. u. Nachträge 8 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 16.—
- Schell, Dr. Wilhelm**, Geh. Hofrath und Professor am Polytechnikum zu Karlsruhe, Theorie der Bewegung und der Kräfte, ein Lehrbuch der theoretischen Mechanik mit besonderer Rücksicht auf das Bedürfniss technischer Hochschulen bearbeitet. Zweite umgearbeitete Auflage. II. Band. 3. Theorie der Kräfte und ihrer Aequivalenz (Dynamik im weiteren Sinne einschl. Statik). 4. Theorie der durch Kräfte erzeugten Bewegung (Kinetik oder Dynamik im engeren Sinne). Mit vielen in den Text gedruckten Holzschnitten. [XII u. 618 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 10.—
- Schottky, Dr. F.**, Privatdocent an der Universität Breslau, Abriss einer Theorie der Abel'schen Funktionen von drei Variablen. [162 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 4.—
- Schröter, Dr. Heinrich**, Professor der Mathematik a. d. Universität zu Breslau, Theorie der Oberflächen zweiter Ordnung und der Raumkurven dritter Ordnung als Erzeugnisse projektivischer Gebilde. Nach JACOB STEINER'S Principien auf synthetischem Wege abgeleitet. [XV u. 720 S. mit vielen Figuren im Text.] gr. 8. geh. n. *M.* 16.—
- Tait, P. G.**, Professor der Physik an der Universität in Edinburg, elementares Handbuch der Quaternionen. Autorisirte Uebersetzung von Dr. G. v. SCHERFF. [XVI u. 322 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 10.—
- Behme, Dr. W.**, Direktor der höheren Gewerbeschule zu Barmen, Lehrbuch der ebenen Geometrie nebst Repetitionstafeln. Für Bürger-, Gewerbe- und höhere Stadtschulen, sowie zum Selbstunterrichte. Sechste verbesserte Auflage. Mit einem besonderen Heft Figurentafeln. [VI u. 106 S.] geh. n. *M.* 2.40.
- Zeitschrift für Mathematik und Physik**. Herausgegeben von Dr. O. SCHLÖMILCH, Dr. E. KAHL und Dr. M. CANTOR. Supplement zur historisch-literarischen Abtheilung des XXV. Jahrgangs. A. u. d. T.: Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. III. Heft. [IV u. 276 S.] gr. 8. geh. n. *M.* 6.40.

Weiler, Adolf

Leitfaden der mathematischen Geographie für den Unterricht an Mittel-
Schulen sowie zum Selbststudium

Leipzig 1881

Math.a. 250 n

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11650580-5